Populäre
Astronomie
für
Alle, welche ohne mathematische Vorkenntniß über die Einrichtung des Weltgebäudes theoretisch und praktisch vollkommen belehrt sein wollen.

Von
G. v. Pontecoulant,
Mitglied der k. Societät der Wissenschaften zu London, der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Palermo ꝛc.

Aus dem Französischen
von
F. Nork.

In vier Theilen,
mit einer Menge von Abbildungen.

Zweiter Theil.
Mit Tafel III.

Herausgegeben von der „Gesellschaft zur Verbreitung guter und wohlfeiler Bücher."

Stuttgart, 1846.
Verlag von Scheible, Rieger & Sattler.
(Preis pro Theil 18 kr. oder 6 Ngr.)

Bayerische
Staatsbibliothek
München

in der Ebene des größten Kreises, welchen er auf der Himmelskugel zu beschreiben scheint, vorstellen. Wir werden dann, um den kürzesten Abstand des Mondes von der Erde darzustellen, eine beliebige Länge TL annehmen, und die mikrometrischen Beobachtungen müssen uns dann die Beziehungen der andern Abstände zu diesen kennen lernen; dann werden wir für jeden Tag der Beobachtung, die Länge der Radii Vectores TL, TL., TL" u. s. w. und ihre Richtung erhalten, und die Curve, welche durch ihre beiden Enden hindurchgeht, wird die Bahn vorstellen, welche der Mond während seiner Umlaufsperiode beschreibt. Man sieht also, daß diese Curve, gleich der Sonnenbahn, eine Ellipse ist, und die Erde nimmt einen ihrer Brennpunkte ein. Das Gesetz, nach welchem die Bewegung auf dieser Curve stattfindet, ist für den Mond und für die Sonne ganz gleich; der von dem Monde täglich beschriebene Bogen bildet, durch das Quadrat des ihm entsprechenden Radius Vector multiplizirt, ein auf allen Punkten der Bahn constantes Produkt; woraus zu schließen, daß die Sektoren, welche durch die Radii Vectores der Mond-Ellipse gezogen werden, den Zeiträumen, die erforderlich, um sie zu beschreiben, proportionirt sind.

Bestimmen wir nun die Elemente dieser Ellipse! Die Beobachtung der Halbmesser gibt uns ein einfaches Mittel an die Hand, zu gleicher Zeit die Excentricität, und die Orte des Perigeums und Apogeums zu bestimmen, d. h. der beiden Punkte der Bahn, wo der Mond am nächsten und am entferntesten von der Erde ist. In der That, die Abweichungen der scheinbaren Durchmesser werden im umgekehrten Verhältnisse zu den Radii Vectores in der Bahn sein; wenn man D den mittlern Durchmesser und e die Excentricität nennt, so erhält man für den Durchmesser des Perigeums $D' = \frac{D}{1-e}$.

und für den Durchmesser des Apogeums $D'' = \frac{D}{1+e}$

wovon man abzieht, $\frac{1+e}{1-e} = \frac{D'}{D''}$, und folglich

$$e = \frac{D'-D''}{D'+D''}$$

Die Beobachtungen zeigen, daß die Abweichungen des scheinbaren Durchmessers des Mondes enthalten sind zwischen 33′ 30″ und 29′ 30″; man hat folglich $D' = 33'\,30''$ und $D'' = 29'\,30''$, was $D'-D'' = 4'$ $D'+D'' = 63'$ gibt; woraus man schließt:

$$e = \frac{4}{63} = 0{,}0653.$$

Diese Excentricität ist weit bedeutender als jene der Sonne, welche nur 0,0168 war; die Mondbahn entfernt sich demnach weit mehr von der Kreisform als die Sonnenbahn, und die Bewegung des Mondes muß also auch weit beträchtlichern Ungleichheiten unterworfen sein.

Die Radii Vectores, welche derselben rechtwinkligen Entfernung des Perigeums und Apogeums entsprechen, sind sich gleich; folglich läßt sich auch der Ort dieser beiden Punkte bestimmen, wenn man das mittlere Verhältniß zwischen den beiden Positionen des Mondes annimmt, wie er in beiden verschiedenen Epochen, in welchen die scheinbaren Durchmesser dieselben sind, beobachtet wurde. Noch kann man sie bestimmen, wenn man für das Apogeum den Punkt annimmt, wo der scheinbare Durchmesser in seinem Minimum war, und für das Perigeum den Punkt, wo er seinen höchsten Werth erreicht hat.

Allein die Veränderungen der scheinbaren Durchmesser sind so unbeträchtlich, daß die mikrometrischen Beobachtungen in dieser Hinsicht immer einige

Unbestimmtheit zurücklassen werden. Die Veränderungen der rechtwinkligen Bewegung sind weit merkbarer als jene der scheinbaren Durchmesser, daher bedient man sich ihrer am liebsten um mit größerer Genauigkeit den Standpunkt des Perigeums und des Apogeums zu ermitteln.

Dem Gesetz zufolge, welches zwischen der Temperatur der Luft und der Witterung ein Verhältniß bewirkt, muß man wahrnehmen, daß die Bewegungen sich beschleunigen, wenn die Abstände geringer werden, und umgekehrt langsamer werden, wenn die Abstände sich bedeutender zeigen. Ebenso, wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes in seinem Minimum ist, dann ist er im Apogeum, das heißt von der Erde am weitesten entfernt, seine Bewegung geht dann am langsamsten vor sich; hingegen, wenn der scheinbare Durchmesser in seinem Maximum ist, dann ist der Mond im Periegum, d. h. der Erde am nächsten, dann ist seine Bewegung sehr rasch. Beobachtet man also die Epochen, wo der Mond eine langsamere oder eine schleunigere Bewegung hat, so wird sich auch der Moment bestimmen lassen, wo der Mond sich im Apogeum oder Perigeum befindet.

Wiederholt man zu verschiedenen Zeiten diese Operation, so bemerkt man bald, daß diese beiden Punkte keine fixen sind, sie verrücken sich eben so wie das Perigeum und Apogeum der Sonne; aber während die Abweichungen der Sonnenbahn ungemein langsam sind, ist die Bewegung des Mond-Apogeums und Perigeums desto rascher, und sie machen die Reise um den Himmel in 9 Jahren. Diese Bewegung ist eine direkte d. h. in derselben Richtung wie die eigene Bewegung der Sonne, oder von West nach Ost, aber nicht so streng gleichförmig. Die Dauer eines tropischen Umlaufs des Mond-Perigeums war i. J. 1801 auf 3231,475 Tage

angelangt; seine Schnelligkeit nimmt in diesem Jahrhundert ab, während die mittlere Bewegung des Mondes sich beschleunigt.

Das Vorhergehende genügt, um zu zeigen, wie man, mittelst der Beobachtungen allein im Stande sein kann, sich von den Elementen der Mond-Ellipse einen ersten Begriff zu verschaffen. In der Folge werden wir auch das Mittel angeben, wie man zu einer genauern Kenntniß dieser Elemente gelange.

48. Bisher haben wir die Bewegungen des Mondes in der Ebene des Aequators abgehandelt, jetzt wollen wir auch die Beziehung derselben zur Ekliptik kennen lernen; um zu erfahren, ob diese letztere eine größere Regelmäßigkeit im Verhältniß zur zweiten Ebene als wie zur ersten darbieten. Wir haben gesehen, daß die neuern Astronomen, anstatt der direkten Beobachtungen, die mittelst der in die Ebene der Ekliptik gerichteten Instrumente erzielt werden, es vorziehen, die Beobachtungen bezüglich zum Aequator auf diese Ebene zu beschränken, d. h. mittelst der Formeln der Trigonometrie die Rektascensionen und die Deklinationen in Längen und Breiten zu verwandeln, was durch eine einfache Rechnung bewirkt werden kann.

Wir nehmen an, es sei γP ♎ (Fig. 40) der Aequator, und γG ♎ die Ekliptik, von irgend einem Punkt L auf der Himmelssphäre angenommen, ziehen wir dann die Bogen des größten Kreises LP und LG; so werden LP und $P\gamma$ die Deklination und Rektascension des Punktes L darstellen, LG und $G\gamma$ die Länge und Breite. Verbinden wir damit die Punkte γ und L durch einen Bogen des größten Kreises. Im Dreieck $P\gamma L$, rechtwinklig im P, sind die Seiten $P\gamma$ und PL bekannt, weil die Rektascension und Deklination durch die Beobach-

Fünftes Kapitel.

Vom Monde.

Aelteste Beobachtung der Bewegungen des Mondes. — Neigung seiner Scheibe zur Ekliptik. — Sekuläre Beschleunigung seiner mittlern Bewegung. — Tropische, siderische, synodische, anomalistische und drakonitische Monate. — Parallaxe des Mondes. — Mondphasen. — Der Ciclus des Meto oder die goldene Zahl. — Eklipsen des Mondes. — Eklipsen der Sonne. — Aschfarbiges Licht. — Mondflecken. — Mondgebirge. — Luftsteine — Gemuthmaßter Einfluß des Mondes auf den Wechsel der Witterung und auf die thierische und vegetabilische Schöpfung.

46. Von allen Himmelskörpern erregt nächst der Sonne nur der Mond unsere größte Aufmerksamkeit, sein Licht ersetzt uns in der Nacht die fehlende Sonne, und verschwindet nur, wenn diese wieder am Horizont erscheint. Der Mond ist der Leitstern der Seefahrer, er gibt ihnen das Mittel an die Hand, um auf der weiten Meereswüste sich dennoch jederzeit orientiren zu können; Ebbe und Flut des Meeres sind sein Werk.

Wir werden dem Mond in derselben Richtung folgen, wie wir es bei der Sonne gethan, wir werden nämlich zuvörderst seine scheinbare Bewegung und die daran sich knüpfenden Erscheinungen zu unserm Augenmerk machen, und dann uns mit den Phänomenen beschäftigen, welche seiner innern Natur

und seiner physischen Beschaffenheit ihre Entstehung verdanken.

Wir haben oben gesehen, daß ein Stern, welcher gleichzeitig mit der Sonne untergeht, in den folgenden Tagen stufenweise ihr vorauseilt, so daß dieses Gestirn sich im umgekehrten Verhältniß zur täglichen Bewegung von dem Sterne sich zu entfernen scheint, und daß beide erst nach Verlauf eines vollen Jahres sich wieder vereinigen. Dieselbe Erscheinung hat auch bei dem Monde statt, nur sind die täglichen Retardationen seines Untergangs im Verhältniß zu jenen der Sterne beträchtlicher; während die Retardationen der Sonne täglich 4 Min. betragen, stellen sie sich für den Mond auf $^3/_4$ Stunden heraus. Der von der Sonne in einem Tage beschriebene Bogen, um sich von einem Stern zu entfernen, welcher gleichzeitig mit ihr den Meridian passirte, erhebt sich noch nicht zu einem Grad, hingegen jener des Mondes in einem gleichen Zeitraume trägt 13° 10′ 35″ nach der mittlern Schätzung. Demnach hat der Mond, wie die Sonne, eine eigenthümliche Bewegung in der Richtung von West nach Ost, aber diese Bewegung geht viel schneller vor sich, denn nach Verlauf von 27 Tagen erscheint der Mond an derselben Stelle des Himmels, wo er ausgegangen.

Beobachtet man während dieses Zeitraums den Mond täglich mit einem Mauerquadranten oder dem Mittagsrohr, und notirt man sich seine Abweichung und den Moment, wo er in den Meridian tritt, so wird man zufolge der Tabelle dieser Abweichungen die verschiedenen Parallelkreise, auf welchen der Mond um Mittag an dem Tage jeder Beobachtung sich finden lassen wird, auf eine Kugel hinzeichnen können, und alsdann die Bemerkung machen, daß die Abweichung bald nördlich bald südlich sei; während 13 Tagen ist der Mond südlich vom Aequator, und eine gleich

lange Zeit nördlich von demselben. Wir haben bei der Sonne dieselbe Wahrnehmung gemacht, nur waren die Zwischenzeiten dort nicht 13 Tage, sondern 6 Monate. Vergleichen wir sodann den Augenblick, wo der Mond in den Meridian tritt, mit jenem, wo ein Stern, dessen Rektascension bekannt ist, in den Meridian tritt, so wird man den Kreis der Abweichung, welcher den Mond in der gleichen Zeit einschließen muß, leicht ermitteln; und rechnet man dann die Durchschnittspunkte dieser Kreise und der ihnen entsprechenden Parallelkreise hinzu, so wird man auf der Kugel die Curve ziehen können, welche der Mond am Himmelsbogen zu beschreiben scheint. Diese Curve ist ein großer Kreis der Sphäre, und die ihn einschließende Ebene neigt sich gegen 28° über jene des Aequators.

Die Durchschnittspunkte dieses großen Kreises und des Aequators lassen sich nicht genau angeben; aber da der Mond sich in wenigen Tagen gleichmäßig fortbewegt, so beobachtet man seine Abweichung vom Meridian am vorhergehenden und dem folgenden Tage seines Durchgangs durch den Aequator, und so läßt sich ziemlich präcis der Moment dieses Durchgangs durch eine Proportion angeben. Dann läßt sich auch die Lage der geraden Linie ermitteln, in welcher die Mondbahn den Aequator durchschneidet, wie man jene der Aequinoktiallinie bestimmt hat. Diese gerade Linie ist keine fixe, denn Beobachtungen lehren, daß sie gleich der Aequinoktiallinie ihre Stellung zu verändern pflege. Aber ihre Veränderungen folgen sich viel schneller, die Punkte, wo der Mond durch den Aequator geht, machen in weniger als 19 Jahren ihre Reise um den Himmel während die Aequinoktialpunkte zu dieser fortwährnden Vorrückung 24,000 Jahre bedürfen. So wiederholen sich also in der Theorie des Mondes alle jene Erscheinungen, welche wir in der Theorie

der Sonne kennen gelernt haben, nur gehen die Bewegungen weit schneller vor sich.

Oben sagten wir, daß der Mond innerhalb 27 Tagen an demselben Punkt des Himmels wieder ankömmt, von wo er ausgegangen. Dieser Zeitraum, welchen man den siderischen Umlauf nennt, ist jedoch nicht constant, und eine Vergleichung der Beobachtungen der Alten mit denen der Neuern hat gezeigt, daß die Umlaufsperiode, welche der Mond zu einer Reise um den Himmel bedarf, seit den frühesten Forschungen in der Astronomie bis auf unsere Tage, sich immer mehr verringerte, so daß die Bewegung des Mondes während eines Jahrhunderts sich um 10 Sekunden beschleunigt. Wenn wir uns mit den Ursachen der Bewegungen der Himmelskörper beschäftigen werden, wird sich auch Gelegenheit bieten, eine theorische Explikation dieser Beschleunigung, welche eines der merkwürdigsten Phänomene des Weltsystems ist, unsern Lesern geben zu können.

47. Die mit dem Mittagsrohr angestellten Beobachtungen haben uns Tag für Tag die rechtwinklige Bewegung des Mondes, während der Dauer eines seiner siderischen Umläufe kennen gelernt, d. h. während der Zeit, welche er bedarf, um bei denselben Sternen wieder anzulangen. Um aber die Natur der Bahn, welche er beschreibt, kennen zu lernen, muß man auch die Abweichungen kennen, die zu seinen Entfernungen von der Erde im Verhältnisse stehen, und diese Kenntniß läßt sich nur durch mikrometrische Beobachtungen erwerben. Wir werden, wie gesagt, unsere bei der Sonne beobachtete Methode auch jetzt zur Anwendung bringen müssen. Um den Punkt T (Fig. 39), welcher die Erde (Tellus) vorstellt, bilden wir eine Reihe Winkel von ungleicher Größe LTL′ L′TL″ u. s. w., welche die tägliche rechtwinklige Bewegung des Mondes

tung gegeben sind. Man kann also den Winkel $P\gamma L$ und die dritte Seite γL ausrechnen, dann ist $P\gamma L = P\gamma G \times G\gamma L$, der Winkel $P\gamma L$ ist gegeben, weil dieses die Neigung des Aequators zur Ekliptik während der Beobachtung ist. Man wird demnach den Winkel $G\gamma L$ durch die vorhergehende Gleichung erhalten. Im rechtwinkligen Dreieck $LG\gamma$ wird man folglich den Winkel γ und die Hypothenuse γL erkennen, und somit die drei andern Theile zu berechnen im Stande sein, folglich die Breite LG und die Länge γG erhalten.

Verwandelt man auf diese Weise die Rektascensionen und Deklinationen des Mondes in Längen und Breiten, und verfolgt seinen Lauf während mehrer durch lange Zwischenräume getrennten Umläufe, so wird man finden, daß seine größten Breiten, nach Abzug einiger abwechselnden Ungleichheiten, sich untereinander stets gleich bleiben, woraus zu schließen, daß die mittlere Neigung der Mondbahn zur Ekliptik zu allen Zeiten dieselbe sein müsse. Die beiden diametral entgegengesetzten Punkte, wo diese Bahn die Ekliptik durchschneidet, heißen die Mondknoten. Um diese Punkte und die Neigung der beiden Ebenen zugleich angeben zu können, bemerken wir, daß in dem Moment, wo die Mondbahn die Ekliptik durchschnitten hat, die Breite des Mondes gleich Null war. Wählt man nun die beiden Beobachtungen, welche gemacht worden sind, als der Mond diesem Durchgangspunkt am Nächsten war, so wird man durch die Regeln der sphärischen Trigonometrie in Stand gesetzt sein, die Lage der Mondbahn im Verhältniß zur Ekliptik angeben zu können. Sei L und V (Fig. 41), die beiden Standpunkte des Mondes AL und VB seine beiden Breiten nach den beobachteten Rektascensionen und De-

klinationen berechnet, AB die länglichte Bewegung im Intervall, so wird man in den zwei Dreiecken ACL und BCV ungefähr haben:

$$AL : BV :: AC : BC$$

oder richtiger:

$$AL + BV : AL - BV :: AC + BC : AC - BC.$$

Die drei ersten Glieder dieser Proportion sind also gegeben, man wird dann AC — BC schließen können, und folglich erhalten:

$$AC = \tfrac{1}{2}(AC + BC) + \tfrac{1}{2}(AC - BC)$$
$$BC = \tfrac{1}{2}(AC + BC) - \tfrac{1}{2}(AC - BC).$$

Fügt man den ersten Bogen zur Länge des Punktes A hinzu, oder zieht den zweiten von der Länge des Punktes B ab, so wird man die Länge des Punktes C erhalten, wo der Mond die Ekliptik durchschneidet.

Im rechtwinkligen Dreieck ACL wird man die beiden Seiten AC und AL erkennen, und folglich den Winkel C zu berechnen im Stande sein. Das Dreieck BCV wird ein zweites Mittel darbieten, um dieses Resultat zu erzielen; und man wird zu seiner Schätzung die mittlere zwischen den beiden auf diese Art enthaltenen Größen annehmen müssen. Mittelst dieser Methode wurde gefunden, daß die Länge des Knotens der Mondbahn auf der Ekliptik in der Mitternacht des 1. Januars 1800 gegen 13° 53′ 22″ betragen habe; aber nachdem man mehre nacheinander folgende Monate dieselben Beobachtungen wiederholt hatte, erkannte man, daß dieser Punkt mit ungemeiner Schnelligkeit seinen Standpunkt verändert. Er hat monatlich eine rückgängige Bewegung von 1° 26′ oder jährlich 19° 19′ 43″, so daß die Punkte der Mondbahn, in einer Bewegung, welche der eigenen Bewegung der Sonne entgegengesetzt ist, ihren tropischen Umlauf in 6798

Tagen oder 18 Jahren und circa 6 Monaten vollenden. Daraus folgt, daß, wenn die Linie der Knoten und die Sonne sich an irgend einem Orte des Himmels begegnet haben, sie sich von Neuem begegnen müssen, bevor noch die Sonne an demselben Orte wieder angelangt ist, d. h. vor einem vollständig abgelaufenen Jahre, weil die Knoten der Mondbahn vor der Sonne auf die Ekliptik zu gehen scheinen. Die neue Begegnung trifft schon nach 346,619851 Tagen ein, dieses nennt man die *synodische Revolution des Knotens*.

Die Neigung der Mondbahn zur Ekliptik ist im mittlern Verhältniß 5° 8′ 47″,9, aber gleich den andern Elementen der Bahn ist auch sie einigen periodischen Ungleichheiten unterworfen, und kann nach Umständen von 5° bis 5° 17′ variiren.

49. Die Sonne hat uns drei verschiedene Umlaufsperioden dargestellt: die tropische Umwälzung, welche die Sonne zu dem beweglichen Frühlingspunkt zurückführt, und deren Dauer das tropische Jahr heißt; ferner die siderische Umwälzung, welche sich auf einen festen Punkt bezieht, indem sie die Sonne zu demselben Stern zurückführt, von wo sie ausgegangen, die Dauer dieser Periode gibt ein siderisches Jahr; endlich die anomalistische Umwälzung, welche die Sonne zu demselben Punkt ihrer Bahn zurückführt. Die Bewegung des Mondes muß aber noch mehrere Arten von Umwälzungsperioden bewirken, je nachdem man von den Punkten zählt, wo die Bewegung ausgeht, oder nach Mondmonaten von ungleicher Dauer. So hat der Mond wie die Sonne eine *tropische Umwälzung*, welche ihn zu demselben beweglichen Frühlingspunkt zurückführt, und eine *siderische Umwälzung*, welche auf einen festen Punkt sich bezieht. *Conjunktion* und *Opposition* nennt man die beiden Standpunkte, in welchen der Mond zur Sonne in Rapport steht,

entweder wenn seine Länge von der Erde aus gesehen mit jener dieses Gestirns gleich ist, oder wenn sie um 180° differirt. Synodische Umwälzung nennt man die Zwischenzeit, in welcher der Mond zur Sonne in Conjunktion tritt, anomalistische Umwälzung hingegen wenn der Mond zu demselben Punkt seiner Bahn zurückgekehrt ist; endlich drakonische Umwälzung, wenn der Mond zu demselben Knoten zurückgekehrt ist.

Die Bewegung des Mondes geht in derselben Richtung vor sich, wie die scheinbare Bewegung der Sonne, weil der Mond, um eine siderische Umwälzung durchzumachen, auch den Bogen beschreiben muß, welchen die Sonne in dieser Zwischenzeit in der Richtung von West nach Ost durchlaufen hat, um mit ihm in Conjunktion zu kommen. Die Dauer der synodischen Umwälzung muß demnach viel länger sein, als die Dauer der siderischen Umwälzung. Ebenso wird, da das Mond-Perigeum eine direkte Bewegung von West nach Ost hat, die Zeit, welche zwischen den zwei nacheinanderfolgenden Uebergängen zum Perigeum verfließt, viel länger sein als jene, welche den Mond zu demselben Punkt des Himmels zurückführt. Die anomalistische Umwälzung dauert also noch länger als die siderische. Im Gegentheil hat die Linie der Knoten der Mondbahn eine rückgängige Bewegung, oder von Ost nach West; die Dauer der drakonischen Umwälzung muß also noch kürzer als die der siderischen Umwälzung sein. So ist also die synodische Umwälzung oder die Zeit, innerhalb welcher der Mond die Sonne einholt, die längste, und die drakonische, oder die Zeit, welche der Mond bedarf, um zu demselben Knoten zurückzukommen, die kürzeste der fünf verschiedenen Mondumläufen.

Wenn erst die Dauer einer dieser Perioden gekannt ist, dann lassen sich auch die andern leicht er-

mitteln. Die tropische Umwälzung ist am leichtesten anzugeben, weil man sie aus der Beobachtung der beiden Standpunkte des Mondes in einem langen Intervall folgern kann. Die Berechnung oder die Beobachtung muß den zwischen beiden Positionen des Mondes enthaltenen Bogen geben; theilt man diesen Bogen durch die Zahl der zwischen beiden Beobachtungen verflossenen Tage, so wird man den Bogen m haben, welchen der Mond in einem Tage beschreibt. Multiplizirt man diesen Bogen mit der Dauer des tropischen Mondmonats, wird er gleich sein 360°; man wird also haben:

$$\text{Tropischer Monat } \frac{360^{\circ}}{m}.$$

Durch genaue Beobachtungen, die in der Zwischenzeit eines Jahrhunderts angestellt wurden, hat man nach Abzug der Ungleichheiten, gleich 13° 10′ 35″, die mittlere Bewegung des Mondes erfahren; nimmt man nun an $m = 13^{\circ}\ 10'\ 35''$, so erhält man

$$\text{Trop. Umw. } \frac{1296000}{47435} = 27{,}3215824 \text{ T.}$$

$$27 \text{ T. } 7 \text{ St. } 43'\ 4'',7.$$

Ist nun n die mittlere tägliche Bewegung der Sonne, so wird $m - n$ der Bogen der relativen Bewegung des Mondes im Verhältniß zur Sonne während eines Tages sein, oder der Winkel, von welchem der Mond in dieser Zwischenzeit von dem supponirten Fixstern sich entfernen wird; eine synodische Umwälzung hat der Mond vollbracht, wenn dieser Winkel 360° zugenommen, man hat dann

$$\text{Synodischer Monat} = \frac{360^{\circ}}{m - n}.$$

Die Beobachtung der Bewegung der Sonne gibt $n = 59'\ 8''$, folglich $m - n = 12^{\circ}\ 11'\ 27''$, woraus zu schließen:

$$\text{Synod. Umw.} = \frac{1296000}{43887} = 29{,}5305885 \text{ T.}$$

29 T. 12 St. 44′ 2″,

Um eine siderische Umwälzung zu erfahren, nennen wir p die tägliche Bewegung der Präcession vo Frühlingspunkt; m — p wird dann der Bogen d täglichen Bewegung des Mondes sein, in Bezu zum angenommenen fixen Aequinoktialpunkt, ma wird dann haben die Proportion:

$$m - p : m :: \text{trop. U.} : \text{sid. U.} = \text{trop. U.} \left(\frac{m}{m - p}\right)$$

oder siderische Umwälzung = tropische Umwälzun

$\left(1 + \frac{p}{m}\right)$. Die Präcession in 100 julianischen Jaren oder 365,25 Tagen zu 5022″,35 angenomme läßt finden p = 0″,1375045, woraus sich ergib

$$\text{Sid. U.} = \text{tr. U.} + 0{,}0000791 = 27{,}3216615$$

27 T. 7 St. 43′ 11″,

Die anomalistische Umwälzung wird man durch ei ähnliches Verfahren erhalten; nennen wir q d tägliche Bewegung des Perigeums, so wird m — die tägliche Bewegung des Mondes in Bezug dem angenommenen fixen Perigeum sein, und ma erhält dann die Proportion:

$$m : m - q :: \text{tr. U. anom. U.} = \text{tr. U.} \left(\frac{m}{m - q}\right)$$

Die mittlere tägliche Bewegung des Mondes bträgt 13° 10′ 35″, jene des Perigeums 6′ 41 was dann gibt: m — q = 13° 10′ 35″ — 6′ 4 = 13° 3′ 54″, mittelst dieser Werthe findet ma

Anomal. Umw. = 27,554599 T.

27 T. 13 St. 18′ 37″.

Ebenso wird man durch Beobachtungen finden, d die tägliche Bewegung des Knotens 3′ 10″,64 i so wie auch, daß sie rückgängig ist.

Umw. in Bezug zum Knoten = 27,212222 T.
27 T. 5 St. 5′ 36″.

Also wird der Mond nach Verlauf von 27 Tagen 13 St. 18′ 37″ zum Perigeum zurückgekehrt sein, und zu seinem Knoten nach 27 T. 5 St. 5′ 36″, wofern nicht Ungleichheiten die mittlere Bewegung stören.

Die synodische Umwälzung bildet den Mondmonat, vergleicht man seine Länge mit jener des tropischen Jahres, so wird man 12 Mondmonate und 10,87 Tage erhalten; die Dauer der tropischen Revolution wird 27,32158 T. betragen; in der Zeit eines tropischen Jahres beschreibt der Mond 13⅓ Umkreise, er bewegt sich also über 13mal schneller als die Sonne. Oben fanden wir, daß die relative Bewegung von Sonne und Mond täglich 12° 11′ 27″ beträgt; wird dieser Bogen in 24 Stunden verwandelt, so gibt es 48′ 46″ für die Zeit, welche der Durchgang des Mondes durch den Meridian täglich gegen jenen der Sonne retardirt. Wir haben gefunden, daß der Bogen, von welchem der Mond sich täglich gegen Osten von einem Stern entfernt, welcher zu einem gegebenen Zeitpunkt in demselben Meridian sich befände, 13° 10′ 35″ beträgt. Verwandelt man diesen Bogen in Zeit, so gibt es 52′ 42″ für die tägliche Verspätung des Durchgangs des Mondes durch den Meridian gegen jenen der Sterne.

Wäre das tropische Jahr aus einer exacten Zahl von Mondmonaten zusammengesetzt, so würde der Mond fortwährend in einer ähnlichen Lage in Bezug zur Sonne um dieselbe Jahreszeit sich befinden. Da aber das tropische Jahr aus 12 Mondmonaten und ungefähr 11 Tagen besteht, so folgt daraus, daß, wenn der Mond an einem gewissen Tag des Jahres in Opposition oder in Conjunktion mit der Sonne sich befindet, dieselbe Erscheinung im folgen-

den Jahre um 11 Tage früher sich darbieten müsse, im zweitfolgenden schon um 22 Tage u. s. f. Diese 11 Tage häufen sich in dem Zeitraum von 19 Jahren zu 209 Tagen an, was 7 vollständigen synodischen Umwälzungen entsprechen würde. Der Mond befindet sich also nach dieser Zwischenzeit genau in denselben Tagen mit der Sonne in Opposition oder Conjunktion wie im ersten Jahre jener Periode.

50. In dem Vorhergehenden haben wir die Beobachtungen von dem Mittelpunkte der Erde aus angenommen, was aber nur denkbar, wenn die Parallaxe des Mondes oder dessen Abstand von der Erde gekannt ist. Wir wollen nun diesen ermitteln, von welchem bis jetzt die Beobachtung der Halbmesser nur die Abweichungen angezeigt hat.

Wir sagten oben, daß die einfachste Methode, um die Parallaxe der Gestirne, welche nicht in zu weiten Entfernungen von der Erde sich befinden, zu bestimmen, diejenige ist, deren sich die Feldmesser bedienen, wenn sie die Entfernung zweier irdischen Gegenstände von einander ausmessen wollen. Dies geschieht, indem sie von zwei verschiedenen Orten sie beobachten. Die Nähe des Mondes von der Erde erleichtert die Anwendung dieser Methode, um seine Parallaxe zu berechnen. Denken wir uns nun zwei Beobachter unter demselben Meridian an zwei verschiedenen Standpunkten postirt, jeder von ihnen beschäftigt den Polarabstand vom Mittelpunkt des Mondes im Augenblick seines Durchgangs durch den Meridian zu messen. Die Distanz der beiden erhaltenen Winkel wird sein (s. Art. 43) der Winkel, unter welchem ein am Mittelpunkt des Mondes placirter Beobachter die auf der Erde gemessene Distanz, welche beide Beobachter trennt, sehen würde, diese Distanz ist die Differenz der Breiten jener Orte, wo die Beobachter auf der Erde sich befinden; man wird also durch eine einfache Proportion den Wi-

kel erfahren, unter welchem der vierte Theil des Erdmeridians vom Mittelpunkt des Mondes aus gesehen werden würde, folglich die Parallaxe dieses Gestirns. Wären die Beobachtungen nicht gleichzeitig gemacht oder stünden die Beobachter nicht genau unter demselben Meridian, so würde eine unbedeutende Berichtigung in den Polardistanzen vom Mittelpunkt des Mondes, die sie beobachteten, schon genügen, um die Coincidenz wieder herzustellen, und die Operationen würden in derselben Weise fortgesetzt werden können, als ob die Beobachtungen in demselben Augenblick und unter demselben Meridian gemacht worden wären. Auf diese Art ist die Parallaxe des Mondes durch gleichzeitige Beobachtungen Lacaille's am Vorgebirg der guten Hoffnung und des Herrn Lalande in Berlin ermittelt worden. Sie fanden diese Parallaxe gegen 53′ 48″, wenn der Mond von der Erde am entferntesten ist, und gegen 61′ 24″, wenn er ihr am nächsten ist. Sie ist heutzutage zur Genüge bekannt, so daß man weiß, die hier angegebene Schätzung könne höchstens nur einen Irrthum von einigen Sekunden enthalten.*

Wir haben gesehen, daß die Parallaxe der Sonne in ihren mittlern Entfernungen 8″,6 beträgt. Die Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde sind unter sich im umgekehrten Verhältniß ihrer Parallaxen d. h. wie 3456″ zu 8″,6, oder wie 402 zu 1. Demnach ist der Mond uns um

* Die Astronomen nehmen die Parallaxe des Mondes horizontal vom Aequator auf 57′ 0″,9 in seiner mittlern Distanz von der Erde an. Dies nennt man die unveränderliche Größe der Parallaxe. Unter jeder andern Breite λ, ist die horizontale Parallaxe ziemlich gleich der vom Aequator aus gesehenen horizontalen Parallaxe multiplizirt durch $1-a \sin^2 \lambda$, indem man durch a einen kleinen Bruch bezeichnet, welcher die Abplattung des Erdsphäroids ausdrückt. Die horizontale Parallaxe ist also vom Aequator viel größer als unter jedem andern Orte der Erde.

400mal näher als die Sonne. Die mittlere Entfernung der Sonne vom Mittelpunkt der Erde beträgt, wie wir gesehen haben, gegen 352 Erdhalbmesser, jene des Mondes von demselben Mittelpunkt 59,35 Erdhalbmesser oder 85054 Meilen.

Die Parallaxe des Mondes gibt uns, da sie gekannt ist, das Mittel an die Hand, sein Volumen mit jenem der Erde zu vergleichen. Daraus resultirt, daß der Erdhalbmesser vom Monde aus unter einem Winkel von 57′ 36″ gesehen werden müßte; in derselben Entfernung erschiene uns der Mondhalbmesser unter einem Winkel von 15′ 43″, man hat also die Proportion:

$$57' \, 36'' : 15' \, 43'' :: \text{Erdhalbm.} : \text{Mondhalbm.}$$
$$= \frac{943}{3456} = 0{,}27293.$$

also ist der Mondhalbmesser nur der 0,27293ste Theil oder $^3/_{11}$ ungefähr von jenem der Erde. Die Flächen der beiden Gestirne sind gleich dem Quadrat ihrer Zahlen, und ihr Volumen im Verhältniß zu ihrem Kubus. Die Fläche des Mondes ist also $^9/_{121}$ oder $^1/_{13}$ ungefähr von jener der Erde, und sein Volumen $^1/_{49}$ vom Erdvolumen. Was ihre Massen betrifft, so hängt dies von ihrer Dichtheit ab.

Vergleichen wir die hier gewonnenen Resultate mit jenen, die uns die Theorie der Sonne dargeboten, so sieht man, daß, wenn Sonne und Mond dem gewöhnlichen Blick * von fast gleicher Größe

* Der scheinbare Durchmesser des Mondes variirt von 29′ 21″,95 bis 33′ 31″,07; der scheinbare Durchmesser der Sonne variirt von 31′ 31″,0 bis 32′ 35″,6. Der Mond muß uns also abwechselnd kleiner und größer als die Sonne vorkommen. Der Winkel, unter welchem wir den Mond sehen, nimmt zu und ab, je nachdem der Mond sich uns nähert oder von uns entfernt. Der scheinbare Durchmesser wechselt also mit den Entfernungen des Mondes von der Erde, folglich auch mit der horizontalen Parallaxe; diese beiden

vorkommen, in der Wirklichkeit es sich nicht so verhält, und jene täuschende Erscheinung von dem Unterschied der Entfernungen des Mondes von der Erde abhängig ist. Die Sonne ist 400mal weiter von der Erde entfernt als der Mond, ihr Volumen 1,400,000mal größer als das Volumen der Erde, und diese wieder 50mal beträchtlicher als das Volumen des Mondes. Der Durchmesser des Mondes beträgt ungefähr 780 Meilen, und seine mittlere Entfernung von der Erde übersteigt nicht ganz 85,000 Meilen, während die Sonne gegen 320,000 Meilen im Durchmesser hat, und gegen 34 Millionen Meilen von uns entfernt ist. Von der ungefähren Größe dieser drei Himmelskörper kann man sich einen Begriff machen, indem man annimmt, daß, wenn der Mittelpunkt der Sonne und jener der Erde sich decken würden, die Entfernung des Mondes vom Mittelpunkt der Erde ungefähr 60 Erdhalbmesser betragen würde, und der Halbmesser der Sonne 112 Erdhalbmesser. Man sieht also, daß die Sonne nicht nur die Erde und die ganze Mondbahn, sondern sogar eine nochmals so große Fläche decken würde.

51. Wir sehen demnach, indem wir das Vorhergehende in einem Ueberblick zusammenfassen, daß 1) der Mond, in Bezug zu den Sternen, in einem Zeitraum von 27,32160 Tagen eine Ellipse beschreibt, in deren Brennpunkt der Mittelpunkt der Erde sich befindet; 2) daß er außerdem, wie die Sonne in seiner elliptischen Bewegung, das Gesetz der Proportionalität der durch die Radii Vectores beschriebenen Sektoren befolgt.

Zu Anfang des Jahrs 1801 waren die Elemente dieser Ellipse:

Elemente sind unter sich in beständigem Rapport, und verbunden durch die Gleichung:

Scheinb. Halbmesser ☾ = $^{5}/_{11}$ horiz. Parallaxe.

Elemente der Mondbahn am 1. Januar 1801.

Excentricität	0,0548442
Länge des Perigeums . . .	266° 10′ 7″
Länge des Knotens . .	13° 53′ 40″
Neigung zur Ekliptik . .	5° 8′ 48″
Mittlere Entfernung von der Erde in Erdhalbmessern . .	59,35
Mittlere tägliche Bewegung .	3° 10′ 35″

Alle diese Elemente variiren wie jene der Sonnenbahn, aber ihre Abweichungen sind weit beträchtlicher und schneller, das Perigeum hat eine jährliche direkte Bewegung von 40° 41′ 30″,8, der Knoten eine retrograde Bewegung, von Ost nach West, gegen 19° 19′ 43″ in demselben Zeitraum.

Man bestimmt die Position des Mondes auf seiner Bahn, wie jene der Sonne, d. h. man vergleicht seine wirkliche Bewegung mit jener eines fingirten Gestirns, elches in einem gleichen Zeitraume diese Bah- in gleichförmiger Bewegung durchlaufen, und gleichzeitig mit dem Monde vom Perigeum oder Apogeum sich entfernen würde.

Die Excentricität der Mondbahn ist viel größer als die der Sonnenbahn, folglich wird die Gleichung des Mittelpunktes, d. h. die variirende Größe, die man zur mittlern Bewegung hinzurechnen muß, um die wirkliche zu erhalten, noch weit beträchtlicher sein; diese Gleichung steigt in ihrem Maximum bis auf 6° 17′ 12″,7. Die Verschiedenheiten zwischen den beobachteten Bewegungen und jenen, welche aus der Hypothese einer gleichförmigen und kreisförmigen Bewegung resultiren, müssen also für den Mond weit merklicher als für die Sonne ausfallen; was also die Schwierigkeit ihrer Theorie erhöht. Aber die elliptische Bewegung stellt die Beobachtungen des Mondes nur sehr unvollkommen vor. Vergleicht man die beobachteten Positionen

mit den in dieser Hypothese berechneten, so wird man bedeutende Abstände gewahren, welche in der Bewegung des Mondes große und zahlreiche Ungleichheiten verrathen, die von der Beobachtung entdeckt wurden; aber der Theorie war die Erforschung ihrer Ursachen aufbehalten geblieben.

Die vorzüglichsten Ungleichheiten sind von den Astronomen mit besondern Namen belegt worden, welche noch jetzt in Geltung sind. Die bedeutendste und am frühesten gekannte, ist die Schwankung. Diese Ungleichheit steigt in ihrem Maximum bis auf 1° 16′ 29″, ihre Periode, d. h. die erforderliche Zeit, welche sie bedarf, um alle erdenklichen Werthe zu erfahren, beträgt 31,811939 Tage. In den Conjunktionen und Oppositionen des Mondes mit der Sonne confundirt sich diese Ungleichheit mit der Gleichung des Mittelpunkts. Auch Hipparch, welcher den Mond nur an diesen beiden Punkten beobachtete, um die Finsterniß vorhersagen zu können, bemerkte sie nicht, und erst Ptolemäus entdeckte sie, welcher am frühesten den Mond beobachtete, als dieser in Bezug zur Erde, von der Sonne 90° entfernt war.

Die zweite Ungleichheit nennt man die Abweichung, sie erreicht in ihrem Maximum 39′ 30″, und ihre Periode beträgt einen halben Mondmonat oder 14,765294 Tage. In den Oppositionen und Conjunktionen, auch wenn Sonne und Mond von der Erde aus gesehen, um ein Viertheil ihres Umfanges entfernt sind, verschwindet diese Ungleichheit. Ihre größte Schätzung erreicht sie, wenn die beiden Gestirne 45° von einander entfernt sind. Da konnte sie den Alten leicht unbemerkt bleiben, weil diese den Mond nur in den Positionen zu beobachten pflegten, wenn er sich auf Null reduzirt. Tycho de Brahe, welcher im 15. Jahrh. lebte, besitzt das Verdienst, diese Entdeckung gemacht zu haben.

Endlich haben auch Beobachtungen, die zu verschiedenen Zeiten des Jahrs vorgenommen wurden, gezeigt, daß die Bewegung des Mondes sich desto mehr zu beschleunigen scheint, je näher die Sonne unserer Erde ist, und langsamer wird, wenn die Sonne sich von uns entfernt; wodurch sich das Vorhandensein einer Ungleichheit verräth, welche von der rechtwinkligen Distanz der Sonne im Perigeum ihrer Bahn oder ihrer mittlern Anomalie abhängt; diese Ungleichheit beträgt in ihrem Maximum 11′ 13″; ihre Periode ist die eines anomalistischen Jahrs, deßhalb hat man sie auch die jährliche Gleichung genannt. Ihre Entdeckung verdanken wir Kepler, welcher sie aus der Untersuchung der Beobachtungen Tycho de Brahe's gewonnen hat.

Man wird sich eine klare Vorstellung von der Wirkung, welche diese Ungleichheiten in der Bewegung des Mondes hervorbringen, verschaffen, wenn man beobachtet, daß dieses Gestirn keine ganz vollkommene Ellipse um die Erde beschreibt, sondern nur eine complizirte Curve. Die Schwankung, die Abweichung und die jährliche Gleichung können als Berichtigungen angesehen werden, welche man bei der in der Ellipse berechneten Länge anbringen muß, um die wirkliche Länge zu erhalten. Die Bewegung des Mondes enthält, außer den vorhin erwähnten Ungleichheiten, noch eine große Anzahl minder bemerkbarer, aber die Genauigkeit der heutigen Beobachtungen gestattet es nicht, daß man von ihnen keine Notiz nehme. Man wird daher nicht mehr verwundert sein, sie in die Berechnungen der Standorte des Mondes mit aufgenommen zu sehen, wenn man sie als kleine Verbesserungen der drei vornehmsten Ungleichheiten betrachtet, welche letztere selber nur Verbesserungen der Gleichung des Mittelpunktes sind. Man wird also ohne Schwierigkeit von den Gesetzen der Bewegung des Mondes in

einer elliptischen Bahn bis zu den complizirtesten Gesetzen seiner Bewegung in seiner wirklichen Bahn * übergehen können. Wenn wir von der Construktion der astronomischen Tafeln handeln werden, soll auch gezeigt werden, wie diese höchst einfachen Ideen für die Praxis leicht ausführbar geworden sind.

52. Wir kommen nun zu einer neuen Klasse von Phänomenen, die dem Monde eigen sind, denn die Theorie der Sonne hat uns keine ähnlichen dargeboten. Wir wollen zuerst der Mondphasen gedenken. Die Sonne kennen wir bekanntlich nur in einer Gestalt, als Scheibe, aber die Gestalt des Mondes geht sehr rasche Veränderungen ein. Beobachtet man den Mond 30 bis 31 Tage unabläßig, so wird man bemerken, daß sein Licht anfangs kaum sichtbar, endlich zu einer sichelförmigen Gestalt anwächst, bis zu einer vollen Scheibe, dann zusehends wieder abnimmt, und zuletzt ganz verschwindet. Schon das früheste Alterthum schloß daraus, daß der Mond ein geborgtes Licht haben müsse. Wäre dem nicht so, dann müßte der Mond, gleich wie die Sonne, stets nur eine Gestalt haben. Gehen wir also von der Voraussetzung aus, daß der Mond kein eigenes Licht habe, und folgen den Phasen, in welchen er sich uns zeigt.

Wir haben gesehen, daß der Mond seinen synodischen Umlauf um die Erde innerhalb 29 Tagen vollendet; denkt man sich nun zur Mondscheibe zwei Tangenten, welche in paralleler Richtung bis zur geraden Linie fortlaufen, welche die Mittelpunkte des Mondes und der Sonne verbindet, so wird

* Um den wahren Standpunkt des Mondes in einem gegebenen Moment zu finden, nimmt man zuerst an. das Gestirn habe eine gleichförmige und kreisrunde Bewegung, welche die mittlere Bewegung und den nahe gerückten Ort gibt, man rechnet sodann zu der also bestimmten mittlern Länge die verschiedenen Ungleichheiten hinzu, wechle die regelmäßige Bewegung des Mondes in der Länge annehmen, und zieht davon die wirkliche Länge ab.

der Theil der Scheibe, der zwischen ihnen sich befindet, der erleuchtete sein, und die andere Hälfte die dunkle. So nehmen wir an (Fig. 42), die Sonne befinde sich im S (sol), und der Mond im L (luna), abc wird dann die helle Seite der Scheibe sein, und adb die dunkle. Würden Sonne und Mond mit gleicher Schnelligkeit die Erde umlaufen, so bekämen wir immer nur denselben Theil der Mondscheibe zu sehen. Aber der Mond hat eine viel kürzere Umlaufszeit als die Sonne, daher entstehen jene Phasen.

Um diesem Phänomen zu folgen, denken wir uns (Fig. 43) die Erde unbeweglich im T (tellus), die Sonne im S, und den Mond L seine Bahn abcd durchlaufend, während die Sonne weit langsamer sich fortbewegend den Bogen AB in 30° beschreibt. Wenn der Mond sich in Conjunktion mit der Sonne im Punkt a befindet, so daß beide Gestirne gleichzeitig in den Meridian treten, so wird die dunkle Seite uns zugekehrt sein, der Mond wird dann unsichtbar. Zwei oder drei Tage nachher befindet sich der Mond im a′, die Sonne im S′, der Mond geht am Abend bald nach der Sonne unter. Wenn seine erleuchtete Fläche mnp ist, bemerken wir zuerst wieder einen schwachen Lichtstreif, aber in Gestalt eines Kreis-Segments, die hohle Seite der Sonne zugewendet. Dieses Segment nimmt mit jedem Tage an Stärke zu, der Mond geht in den folgenden Tagen schon später unter, je mehr er von a in b vorrückend, sich von der Sonne entfernt. Am siebenten Tag ist er bereits in b angelangt, von seinem im mnp erleuchteten Theil sehen wir alsdann die Hälfte mn, der Mond erscheint nun als ein leuchtender Halbzirkel, und ist fast die halbe Nacht hindurch sichtbar. Dann sagt man: der Mond ist im ersten Viertel. In den folgenden Tagen ist die erleuchtete Seite immer noch im Zunehmen

begriffen, der Mond verweilt noch länger am Horizont; am 14. oder 15. Tag kömmt er ins c in Opposition mit der Sonne. Jetzt ist seine erleuchtete Seite uns vollständig zugewendet, wir sehen ihn nun in Kreisform, er leuchtet die ganze Nacht, und man sagt alsdann: der Mond ist voll. Vom folgenden Tage verliert sein westlicher Rand an Lichthelle, er verdunkelt sich allmählig mehr, der Mond geht in jeder der folgenden Nächte später am Horizont auf, und die erleuchtete Seite wird immer kleiner; am 22. Tage ist der Mond im d, wir sehen jetzt nur noch die Hälfte seiner erleuchteten Seite, er tritt nun in das letzte Viertel. Aber auch diese Hälfte schrumpft in den folgenden Nächten zusammen, und alle in der ersten Zeit seines Umlaufs beobachteten Phänomene zeigen sich uns jetzt in umgekehrter Gestalt, der Mond ist wieder eine Lichtsichel, deren Endpunkte der Sonne entgegengesetzt sind. Endlich am 26. Tage zeigt sich der Mond, der Sonne schon wieder sehr nahe gekommen, nur einige Augenblicke vor ihrem Aufgang, im Osten, und endigt damit, daß er mit der Sonne in Conjunktion tritt. Um diese Zeit ist er zwei oder drei Tage unsichtbar, und man sagt dann: es ist Neumond.

Mit dem Worte Syzygien bezeichnet man sehr unbestimmt die Neumonde und Vollmonde, Epochen, in welchen der Mond mit der Sonne in demselben Meridian sich befindet, d. h. in Opposition oder in Conjunktion mit diesem Gestirn. Das erste und dritte Viertel heißen Quadraturen, weil in dem Moment, wo dieses Phänomen sichtbar wird, der rechtwinklige Abstand des Mondes von der Sonne 90° oder den vierten Theil des Umfangs dieses Gestirns enthält. Um diese Zeit geht der Mond gegen 6 Uhr Morgens oder gegen 6 Uhr Abends durch den Meridian. Zur Neumondszeit

kommen Sonne und Mond gleichzeitig in den Meridian, aber zur Vollmondszeit tritt das eine Gestirn um 12 Stunden später als das andere in den Meridian, und man kann sodann die beiden Gestirne in der Nähe des Horizonts und diametral entgegengesetzt sehen, eines auf das andere folgend.

Zuweilen fand man sich genöthigt, im Mondeslauf noch Unterabtheilungen vorzunehmen; nämlich die Zwischenzeiten zwischen den Syzygien und Quadraturen, diese vier neuen Zeitpunkte nannte man Oktanten. Die Zeit, welche zwischen Neu- und Vollmond verfließt, während dem der erleuchtete Theil der Mondscheibe allmählig an Ausdehnung zunimmt, heißt die Periode des wachsenden Lichts. Die Zeit, welche zwischen Voll- und Neumond verfließt, heißt Periode des abnehmenden Mondes. Epakten nennt man die abgelaufene Zeit seit dem letzten Neumond bis zur Mittagsstunde des 31. Dezembers für die gemeinen Jahre, und bis zum 1. Januar Mittags für die Schaltjahre.

53. Die Mondphasen, wie sie in den Beobachtungen sich uns darstellen, stimmen genau mit den Erscheinungen, welche der Mond hervorbringen muß, wenn er ein dunkler Körper ist, welcher von der Sonne sein Licht empfängt. Schon die ältesten Astronomen schlossen aus diesen Erscheinungen, daß der Mond ein dunkler Körper sein müsse. Da die Umläufe des Mondes 12 bis 13mal schneller sich vollenden als jene der Sonne, so mußten sie von selbst auf die Eintheilung des Jahres in 12 Theile führen, und da der Mond in je sieben Tagen seine Gestalt wechselt, so war auch die Eintheilung der Woche gegeben.

Diese allgemein angenommenen Eintheilungen der Zeit genügten für den Gebrauch im bürgerlichen Leben; aber die Bedürfnisse der Astronomie

drangen auf die Einführung größerer Zeitmaße, welche verwickeltere Berechnungen erforderten. Im Allgemeinen heißt ein Zeitabschnitt, an dessen Ende ein Gestirn, nach mehren Umläufen, seinen frühern Standpunkt, von dem es ausgegangen ist, am Himmel einnimmt: Cyklus; der berühmteste ist jener des Meton, auch die goldene Zahl genannt, weil die Astronomen Athens, von seiner Genauigkeit und Brauchbarkeit überrascht, ihn in goldenen Buchstaben auf den Mauern des Minerventempels einzeichnen ließen. Dieser Cyklus enthält 19 tropische Jahre, während welchen der Mond 235 synodische Umläufe vollendet, so daß er, wie wir gesehen, in Bezug zur Sonne, zu Anfang und zu Ende dieser Periode an derselben Stelle sich befindet. Die Conjunktionen und Oppositionen, folglich auch die verschiedenen Phasen, treffen dann an denselben Tagen des Monats nach jenem Intervall ein, so daß, wenn man während der ersten Periode sie sorgfältig beobachtet hatte, man versichert sein darf, sie genau zu denselben Epochen in den folgenden Perioden wieder anzutreffen. Man begreift demnach, wie der von Meton erfundene Cyklus den alten Astronomen die Anordnung ihres Kalenders erleichtern mußte; weil dem Kalendermacher, um die Mondphasen für eine beliebige Zeit voraus zu bestimmen, zu wissen genügte, in welchem Jahr und an welchem Tage des Cyklus der Mond auf diesen Punkten eintraf, und innerhalb 19 Jahren mußte er einmal an derselben Stelle, an demselben Tage gewesen sein.

Allein die Genauigkeit, mit welcher die Alten sich begnügten, ist für uns keine mehr. Sollte der Cyklus des Meton noch jetzt für exact gelten, so müßten 19 julianische Jahre vollkommen 235 Mondmonaten entsprechen, d. h. man müßte die Proportion haben:

365,25 T. : 29,5305885 T. :: 235 : 19.

Aber die Gleichheit dieser beiden Verhältnisse ist nur annähernd, denn 19 julianische Jahre machen 6939,75, während 235 Mondmonate 6939,6882975 T. geben. Die Differenz ist etwa 0,0617025 T. oder 1 St. 28′ 51″,1. Die Epochen für jene Erscheinungen treffen in zwei aufeinander folgenden Perioden nicht mehr zu, die zweite wird, was die Phasen betrifft, um 1½ Stunde ungefähr gegen die erste Periode früher eintreffen, was in 304 Jahren schon einen vollen Tag beträgt. Noch fühlbarer wäre diese Unvollkommenheit, wenn man, wie die Alten, den aus 6940 Tagen bestehenden Cyklus des Meton in runden Zahlen annehmen wollte. Um größere Genauigkeit hineinzubringen, vervierfachte Callipus diese Periode, indem er einen Tag abzog. So enthielt also sein neuer Mondcyklus 27759 Tage oder 76 julianische Jahre, welche 940,01 Mondmonate enthalten. Man hat noch zuverlässigere Perioden erfunden, allein da sie, seitdem die astronomischen Tafeln ein einfacheres Mittel an die Hand geben, um in jedem Augenblick die Positionen der Sonne und des Mondes zu bestimmen, keinen Nutzen für uns haben können, so wäre es ganz überflüssig, bei ihnen länger verweilen zu wollen.

54. Den Beobachtungen der Mondphasen verdankten die Astronomen der Alten auch eine ingeniöse Methode, um den Abstand der Sonne von der Erde zu finden. Wenn der Mond, gegen die Zeit der Quadraturen, dychotom ist, d. h. in einer solchen Position, daß wir die Hälfte seiner Scheibe erleuchtet sehen, so ist die gerade Linie TL (Fig. 44), wo der Beobachtungspunkt und der Mittelpunkt des Mondes sich berühren, senkrecht von der geraden Linie LS, welche sowohl den Mittelpunkt des Mondes als den Mittelpunkt der Sonne berührt. Im

Dreieck STL, welches Sonne, Mond und Erde in sich faßt, wird der Winkel vom Monde SLT aus ein gerader sein; der Winkel von der Erde STL aus ist durch die Beobachtung gegeben; man kann also den dritten Winkel TSL berechnen, folglich auch die Gleichheit der Entfernungen TS und TL der Erde von der Sonne und dem Monde. So fand drei Jahrhunderte vor der christlichen Zeitrechnung Aristarch von Samos, daß die Sonne mehr als 19mal weiter von uns entfernt ist als der Mond. Diese Abschätzung des Abstandes der Sonne war 20mal kleiner, wovon die Schwierigkeit der Beobachtung die Schuld trägt. Die Grenzen des Lichts und des Schattens auf der Mondscheibe lassen sich nie mit Genauigkeit angeben, daher man sich leicht hinsichtlich des Momentes irren kann, wo der Winkel im L ein gerader ist. Allein diese Idee, nach den Mondphasen das Intervall zu bemessen, welches uns von der Sonne trennt, ist, obschon heutzutage nicht vom geringsten Nutzen, immerhin genial; ihr verdanken wir die ersten richtigen Begriffe über den immensen Abstand der Sonne von der Erde.

55. Die Erklärung der Mondphasen führt uns zu jener der Finsternisse; und obschon diese Phänomene nicht mehr, wie sonst, die Völker in Schrecken versetzen, also an Interesse bedeutend eingebüßt haben, so verdienen sie dennoch unsere Aufmerksamkeit. Die Beobachtung lehrt uns zuerst, daß die Finsternisse nur im Vollmonde eintreten; nun haben wir aber gesehen, daß um diese Zeit der Mond in Opposition mit der Sonne ist, d. h. die Erde befindet sich zwischen beiden Gestirnen auf derselben geraden Linie; und die Erdkugel ist ein sphärischer dunkler Körper, welcher die Sonnenstrahlen auffängt, und alle Objekte, welche in den Schattenkegel treten, den sie hinter sich wirft, werden dem-

nach unsichtbar für uns.. Nehmen wir nun an, daß dieser Schattenkegel so sehr vorrage, daß seine Spitze den Mond hinter sich läßt — und wir wissen, daß er sogar 2½mal größer ist als die Entfernung des Mondes von der Erde — so muß der Mond, so oft verschwinden, als er in diesen Schattenkegel sich versenken wird, und es muß sodann eine Mondfinsterniß erfolgen. Das ist die wahre Ursache dieses Phänomens, und ein neuer Beweis, daß der Mond nicht durch sich selbst leuchtet. Man begreift nun, daß in diesem Fall der Mond sichtbar zu sein aufhören muß, sobald ein dunkler Körper sich zwischen ihn und die Sonne drängt, und ihr Licht dem Monde entzieht.

Nach dieser Erklärung möchte es beim ersten Blick den Anschein gewinnen, als ob der Mond sich jedesmal verdunkeln müsse, wenn er mit der Sonne in Opposition sich befindet, also einmal des Monats. Dies könnte aber nur statt haben, wenn die Ebene seiner Bahn mit der Ekliptik coincidirte; allein die wechselseitige Neigung der beiden Ebenen bewirkt, daß der Mond in seinen Oppositionen mit der Sonne und der Erde in derselben Ebene perpendikulär von der Ekliptik sich befinden kann, ohne deßhalb auf derselben geraden Linie situirt zu sein. Der Mond ist zuweilen von der Ebene der Ekliptik vielmehr zu weit entfernt, um den Erdschatten zu erreichen, und dringt nur dann ganz in denselben ein, wenn er zur Zeit des Vollmonds die Ebene der Ekliptik durchschneidet, d. h. wenn er sich in jenem Moment in der Nachbarschaft der beiden Knoten befindet. Eine totale Finsterniß ist, wenn der Mond ganz verdunkelt worden; eine partiale Finsterniß, wenn nur ein Theil der Mondscheibe sich in den Erdschatten senkt; wenn folglich der Abstand des Mondes von der Ekliptik im Moment der Opposition groß genug ist, um den Schat-

tenkegel, den die Erde hinter sich wirft, über oder unter sich zu lassen, so gibt es keine Eklipse. Die Dauer der Finsterniß hängt von dem Abstand des Mondes, von der Ebene der Ekliptik im Moment der Einsenkung ab, d. h. wenn er in den Erdschatten eindringt. Je weiter er sich entfernt, je kleiner wird der Schattenkegel, den er zu durchschneiden hat, folglich nimmt auch die Finsterniß ab. Eine totale Finsterniß entsteht, wenn die Breite des Mondes kleiner ist, als die Differenz des Halbmessers vom Schattenkegel und des Mondhalbmessers. Auch dann kann eine totale Finsterniß stattfinden, wenn die Breite des Mondes dieser Differenz gleich ist, allein in diesem Fall ist die Eklipse total ohne Dauer; sie ist partial, wenn die Breite des Mondes kleiner ist, als die Summe der Halbmesser des Schattens und des Mondes, aber geringer als ihre Differenz. Es kann demnach keine Eklipse erfolgen, wenn die Breite des Mondes der Summe der beiden Halbmesser gleich kommt, oder sie gar übertrifft. Nur eine sehr genaue Berechnung ist im Stande, diese verschiedenen Fälle vorherzusagen. Aber bei dem jetzigen Standpunkt der Wissenschaft ist dies nicht schwierig, und man kann auf diese Weise auch von den unbedeutendsten Zufällen und Verschiedenheiten, welche die Eklipsen darbieten, Rechenschaft geben.

Bei totalen Finsternissen bemerkt man zuweilen eine röthliche Farbe rings um den Mond. Die Ursache dieser Erscheinung sind einige Sonnenstrahlen, die, die Erdatmosphäre durchschneidend, eine veränderte Richtung erhielten, und, indem sie in den Schattenkegel sich versenkten, auch die Fläche des Mondes berühren mußten.

Jeder Theil der Mondscheibe büßt, bevor die Eklipse vollständig ist, seinen Antheil am Sonnenlicht ein, und verdunkelt sich mehr und mehr, wenn

der Mond gegen den dichtesten Theil des Erdschattens vorrückt. Das Intervall, in welchem diese Verminderung vor sich geht, heißt Halbschatten, er entsteht durch die Größe der Sonnenscheibe; denn wäre dieses Gestirn nur ein leuchtender Punkt, so würde er hinter der Erde einen vollkommenen Schatten haben. Da aber die Sonnenscheibe viel größer als die Erdscheibe ist, so folgt daraus, daß gegen den Anfang oder gegen das Ende einer Eklipse gewisse Theile der Mondscheibe immer noch eine Lichtportion der Sonnenstrahlen einsaugen, welche von der Erde nicht aufgefangen wurden. So z. B. werden Fig. 45, wo das S die Sonne, und T die Erde vorstellt, wenn man den 4 Lichtstrahlen folgt, welche gleichzeitig die Erd- und Sonnenscheibe umgeben, die Strahlen AC und BC den Schattenkegel bilden, und die Strahlen x y den Kegel des Halbschattens; dieser letztere empfängt immer noch einen schwachen Theil des Sonnenlichts, aber seine Dunkelheit nimmt verhältnißmäßig zu, je näher er dem Schattenkegel kömmt, den er von allen Seiten einschließt; so erklärt sich das stufenweise Ab- und Zunehmen des Mondlichtes am Anfang und am Ende der Eklipsen.

Die Erdkugel wirft zur Zeit der Mondsfinsternisse auf die Mondscheibe einen kreisförmigen Schatten, welche Wahrnehmung die Astronomen der Alten auf die Kugelgestalt der Erde zuerst aufmerksam machte. Wir werden in der Folge sehen, daß die neuere Astronomie ihre genauere Kenntniß von der Gestalt der Erde und die genaueste Messung ihrer Abplattung den Beobachtungen des Mondes verdankt.

56. Indem wir von den Mondfinsternissen zu den Sonnenfinsternissen übergehen, finden wir hier die Erklärung derselben in analogen Ursachen. Nur im Neumonde, d. h. wenn der Mond mit der

Sonne in Conjunktion ist, also wenn der Mond zwischen die Sonne und die Erde tritt, entzieht er uns ihr Licht; also pflegen um diese Zeit die Sonnenfinsternisse einzutreten. Indeß ist nicht in jedem Neumonde eine Sonnenfinsterniß, so wie nicht in jedem Vollmonde eine Mondfinsterniß; wegen der Neigung der Mondbahn zur Bahn der Ekliptik muß, damit eine Eklipse entstehe, der Vollmond in der Nachbarschaft der Knoten der Mondbahn sein. Ungeachtet der Mond unendlich kleiner als die Sonne, so ist es, wegen seiner größern Nähe zur Erde, doch möglich, daß, wenn er zur Zeit der Conjunktion in der Ebene der Ekliptik sich befindet, er uns das Licht der Sonne entziehen kann. Nehmen wir (Fig. 46) an, die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes auf derselben geraden Linie SL gehen vor dem Beobachter vorbei; wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes geringer als jener der Sonne ist, so wird nur ein kleiner Theil der Sonnenscheibe verdunkelt sein, aber im entgegengesetzten Fall wird die Sonne ganz unsichtbar. Dann trifft es ein, daß, kraft der wechselnden Entfernungen des Mondes und der Sonne von der Erde, die scheinbaren Durchmesser beider Himmelslichter abwechselnd größer sind. Dieser Umstand, im Zusammenhang mit der größern oder geringern Entfernung des Mondes von seinen Knoten in den Conjunktionen muß eine unendliche Verschiedenheit in den Sonnenfinsternissen hervorbringen.

Die Sonnenfinsternisse sind ebenfalls bald total, bald partial; nur gibt es hinsichtlich der Sonne noch eine dritte Art von Eklipsen, welche man ringförmige nennt. Wenn die Sonnenscheibe gänzlich unsichtbar ist, haben wir eine totale Finsterniß, man sagt hingegen, sie sei ringförmig, wenn der Mond, indem er sich wie ein schwarzer Fleck auf den Mittelpunkt der Scheibe hinwirft, nur noch

einen leuchtenden Ring sehen läßt, welcher der Differenz ihrer scheinbaren Durchmesser gleich kömmt. Endlich eine partiale Finsterniß wird bewirkt, wenn der Mond nicht mitten durch die Sonne geht, sondern nur einen Seitentheil derselben bedeckt.

Zwischen den Sonnen- und Mondfinsternissen ist eine große Verschiedenheit. Die letztern sind universell, d. h. der ganzen Erde sichtbar, so daß, wenn in Paris der Mond sich verfinstert, man gewiß sein kann, daß an allen Orten, welche den Mond an ihrem Horizont haben, die Größe der Eklipse dieselbe sein wird, auch beginnt und endet sie an allen diesen Orten gleichzeitig. Hingegen die Sonnenfinsterniß kann an irgend einem Orte der Erde bemerkt werden, ohne daß anderswo die Sonne zu scheinen aufhört. Die Ursache dieser Verschiedenheit ist leicht begreiflich. Man weiß, daß, wenn der Mond in den von der Erde geworfenen Schattenkegel sich versenkt, er plötzlich dunkel wird, und für alle Bewohner der Erde dann unsichtbar ist. Aber in den Sonnenfinsternissen hört die Sonne demungeachtet nicht auf, ihr Licht leuchten zu lassen; nur wenn der Mond zwischen die Sonne und die Erde tritt, fängt er ihre Strahlen auf; da aber der Mond sehr nahe von der Erde ist, so wird die Sonne nur für Diejenigen verstellt, welche sich in der Richtung der durch Sonne und Mond gehenden Linie befinden, während die außer jener Richtung liegenden Bewohner der Erde, diese Finsterniß entweder gar nicht, oder doch eine andere Größe derselben sehen. Was während einer Sonnenfinsterniß vorgeht, ist einer Wolke ähnlich, die sich zwischen uns und die Sonne stellt; in jenen Gegenden, wo der Himmel klar ist, leuchtet die Sonne mit ungeschwächter Kraft fort. Die Sonnenfinsternisse bieten eine ganz analoge Erscheinung dar. Indem der Mond nicht nur kleiner als die Sonne, sondern sogar kleiner als

die Erde ist, so wirft er, indem er zwischen uns und die Sonne tritt, einen Schatten auf die Erde, der nicht größer als ein ziemlich runder Fleck, welcher successive und sehr schnell die ganze erleuchtete Hemisphäre durchläuft. Dieser Fleck enthält alle jene Gegenden, für welche die Sonne in diesem Augenblick vollständig verfinstert ist; die benachbarten Länder büßen nur einen Theil der Sonnenstrahlen ein, und die entferntern sehen die Sonne in ihrer vollständigen Klarheit. Also bieten die Sonnenfinsternisse uns einen neuen Beweis, wie die Sonne weit entfernter von uns als der Mond ist.

Bei totalen Sonnenfinsternissen pflegt man zu bemerken, daß die Sterne immer noch einen blassen Schein behalten, und nur die Sterne dritter Größe werden ganz unsichtbar. Man glaubte diesen Rest von Helle durch die Mondatmosphäre erklären zu können; allein das Phänomen des Verschwindens oder der Verdunkelung der Sterne, wenn sie vom Monde bedeckt sind, läßt uns erathen, daß die Mondatmosphäre, wenn überhaupt eine existirt, fast unmerklich sein müsse. Wirklich bemerken wir auch, daß, wenn der Mond von einer Atmosphäre umgeben ist, die diese durchschneidenden Lichtstrahlen mehr und mehr abweichen müssen, je näher sie dem Mittelpunkt des Mondes kommen, was ja auf der Erde statt hat, und auch die Ursache ist, daß wir die Sterne, wenn sie schon unter dem Horizont sind, noch eine Weile bemerken. Nehmen wir nun an, daß wir den Mond in dem Augenblick beobachten, wo er vor einem Stern vorbeizieht. Die von dem Stern ausgehenden Strahlen werden sich durch die Kraft der Mondatmosphäre abbiegen, und wir werden den Stern noch eine Weile nach seiner Verdunkelung bemerken. Aus demselben Grunde werden wir sie am andern Rande des Mondes einige Augenblicke vor dem wirklichen Ende des Verbor-

genseins wieder erscheinen sehen. Die vornehmste Wirkung der Mondatmosphäre wird demnach sein, die Dauer der Verfinsterung der Sonne und der Sterne durch den Mond abzukürzen. Nun zeigt aber die Berechnung, daß die Zeit, welche der Stern bedarf, um den Durchmesser des Mondes zu passiren, genau dieselbe ist, welche die Beobachtung lehrt; also hat der Mond keine Atmosphäre gleich unserer Erde; oder ist es dennoch der Fall, d. h. ist der Mond nicht ganz derselben beraubt, so sagt uns die Berechnung, daß diese Atmosphäre nicht über 1½ Sekunden einen Lichtstrahl abbiegen kann, d. h. diese Atmosphäre ist weit durchsichtiger als jene, welche wir mit der besten pneumatischen Maschine hervorzubringen vermögen. Demnach erzeugt nicht die Mondatmosphäre jenen Lichtreif um den Mond in den meisten Sonnenfinsternissen, denn alles zwingt uns hier zu der Annahme, daß jenes Phänomen der Sonnenatmosphäre seine Entstehung verdanke.

57. Wenn der Mond auch nicht unmittelbar von der Sonne sein Licht empfängt, so verschwindet er dennoch nicht plötzlich aus unsern Augen. So scheint in den Neumonden die uns zugekehrte Scheibe mit einem schwachen Glanze zu leuchten, welchen man das aschfarbene Licht nennt. Die Astronomen der Alten glaubten anfänglich, es sei dieses Licht dem Monde eigenthümlich. Da wir aber wissen, daß der Mond ein dunkler Körper ist, so müssen wir uns nach einer andern Erklärung dieses Phänomens umsehen. Bekanntlich wirft die Erde, als ein dunkler Körper die Sonnenstrahlen zurück, wie wir auch dieselbe Wirkung an der Oberfläche des Mondes vorausgesetzt haben. Einem im Monde stehenden Beobachter müßte demnach die Erde dieselben Phasen darbieten, welche wir an dem Monde bemerken, nur folgen sie sich in einer entgegengesetzten Ordnung. Da man im Vollmonde von der Oberfläche

des Mondes nur die der Erde zugekehrte Seite bemerkt, welche nicht von der Sonne erleuchtet ist, so muß im Neumonde die Erde voll, d. h. vollständig von der Sonne erleuchtet sein. Dieses von der Erde auf den Mond zurückgeworfene Licht wird von diesem uns noch einmal zugeschickt, nur muß es uns dann von geringerer Dichtheit vorkommen. Um sich von der Zuverlässigkeit dieser Erklärung zu überzeugen, braucht man nur den Mond an jenem Tage zu beobachten, wo die Erde einem Beobachter auf der Mondoberfläche voll vorkommen müßte, d. h. wenn die Mondbewohner Vollerde haben. Da aber die Beobachtung alsdann unmöglich ist, weil der Mond gleichzeitig mit der Sonne unter dem Horizonte ist, so begnüge man sich mit einer in den nächstfolgenden Tagen vorzunehmenden Beobachtung; man wird dann bemerken, daß wirklich um diese Zeit das aschfarbene Licht des Mondes das dichteste ist, weil ein großer Theil der erleuchteten Erdhälfte gegen dieses Gestirn gekehrt ist. So werden alle Erscheinungen, welche auf die Veränderungen dieses Lichtes sich beziehen, sich ganz einfach durch diese doppelte Zurückprallung der Sonnenstrahlen erklären lassen. Man hat ferner noch bemerkt, daß die Dichtheit des aschfarbigen Lichts von der dem Monde zugekehrten erleuchteten Hälfte der Erde abhängig sei; folglich entsteht, wenn der Mond mit der Sonne zugleich untergeht, das aschfarbene Licht aus den in den amerikanischen Ozean zurückprallenden Sonnenstrahlen. Hingegen wenn der Mond kurz vor der Sonne aufgeht, wird die Erdhälfte, an welcher die Sonnenstrahlen abprallen, aus einer harten und einer wässerigen Substanz — aber in minder beträchtlicher Masse als im erstern Falle — zusammengesetzt sein. Aus diesem Grunde wird das aschfarbene Licht etwas dichter

sein, und dies wird von der Beobachtung auch wirklich bestätigt.

58. Ein großer Theil der Menschheit findet es noch immer unbegreiflich, daß die Astronomen im Stande sind, mit größter Genauigkeit für die fernste Zukunft nicht nur die Finsternisse überhaupt vorauszusagen, sondern sogar die Zeit ihrer Dauer und andere Nebenumstände präcise zu bestimmen. Man will darin die großen Fortschritte der Astronomie erkennen, und doch beruht diese Vorhersehungskunst nur auf der einfachen Beobachtung der eben geschilderten Phänomene, und ist eine ganz einfache Folge der Erklärung, die wir von ihnen gegeben. Oben haben wir gesehen, wie man für die Sonne Tafeln construiren kann, welche für eine bestimmte Epoche ihre Position am Himmel geben. Denke man sich nun, es gäbe auch für den Mond ähnliche Tafeln, so wird man die verschiedenen Zeiten, wo dieses Gestirn in Opposition oder Conjunktion mit der Sonne sich befindet, leicht bestimmen, unter ihnen diejenigen auswählen, wo die Nähe der Knoten die Ellipse möglich macht, und somit auch alle Umstände, welche dieses Phänomen begleiten, vorhersagen können.

Die Vorausbestimmung der Eklipsen kann auch für den Chronologen nützlich sein, denn man braucht nur die Eklipsen rückwärts bis auf unsere Tage zu rechnen, so wird man das Datum gewisser, zu jenen Zeiten vorgefallenen Begebenheiten mit größter Sicherheit festsetzen können.

Die mittlere Dauer eines Mondumlaufs in Bezug zur Sonne beträgt gegen 29 T. 12 St. 44′ 2″ 50‴,9 oder in Decimaltheilen des Tages, gegen 29,530588, die mittlere Dauer eines Umlaufs der Knoten, in Bezug zu demselben Gestirn, gegen 346,619870 T.; diese beiden Zahlen verhalten sich zu einander, wie 19 zu 223, d. h. nach einer Pe-

riode von 223 Mondmonaten oder 6585,32114 T., befinden sich Sonne und Mond in derselben Position in Bezug zum Knoten der Mondbahn. Ebenso müssen alle Sonnen- und Mondfinsternisse nach dieser Zwischenzeit in derselben Ordnung wieder erfolgen. Man braucht nur die Eklipsen einer gewissen Zeit beobachtet zu haben, um künftige Eklipsen vorausbestimmen zu können.

Dieses höchst einfache Mittel, die Eklipsen vorherzusagen, war bei den Astronomen der Alten in Anwendung. Die Neuern bedienen sich desselben noch, wenn sie ungefähr die Epoche einer Eklipse bestimmen wollen, wobei, wie schon oben bemerkt worden, die astronomischen Tafeln einen wichtigen Dienst leisten. In der That, der oben festgestellte Rapport zwischen den synodischen Umläufen des Mondes und den Knoten seiner Bahn ist nicht gar so exact, und wird außerdem durch verschiedene Ungleichheiten, welchen die Bewegungen der Sonne und des Mondes unterworfen sind, bedeutend modifizirt. Diese beiden Gestirne werden sich nicht so genau, in Bezug zu den Knoten, nach 223 Mondmonaten in derselben Position wieder zusammentreffen, und das Gesetz, welches die Eklipsen in derselben Ordnung in der folgenden Periode wieder herbeiführt, kann folglich nur als eine Approximation betrachtet werden, welche zwar den Astronomen der Alten genügen mochte, welche aber bei der Präcision unserer heutigen Beobachtungen nicht mehr befriedigen kann.

Die Mondfinsternisse geben uns ein auch von den Alten schon angewandtes Mittel an die Hand, um die geographischen Längen der Erde bestimmen zu können. Da die Mondfinsternisse in demselben Augenblicke in allen Gegenden, die den Mond am Horizont haben, bemerkt werden, so muß die Verschiedenheit der Stunden, in welchen das Phänomen

eintraf, auf Grade reduzirt, und 15° auf die Stunde gerechnet, — oder 360° auf 24 St. — den Abstand der Meridiane, auf welchen diese Oerter liegen, oder die Verschiedenheit ihrer geographischen Längen, zur Kenntniß bringen. So z. B. wird man, wenn die Differenz der Zeit 6 St. beträgt, schließen dürfen, daß die Meridiane unter sich einen Winkel von 6 × 15° oder 90° bilden, d. h. die Differenz der Längen ist der vierte Theil der ganzen Erde. Man begreift, daß, um nach diesem Verfahren die geographischen Längen exact bestimmen zu können, man annehmen muß, der Augenblick, in welchem das Phänomen statt fand, sei präcis angegeben. Die Beobachtungen der Alten konnten sehr leicht um 4′ in der Angabe des Moments der Eklipse sich irren, was auf die Bestimmung der Längen schon eine ganze Stunde ausmachen würde. Setzt man nun voraus, daß jeder der beiden, unter verschiedenen Meridianen lebenden Beobachter sich um 4′ geirrt hätte, der eine mehr, der andere weniger, so entspringt schon ein Irrthum von 2° in der supponirten Distanz ihrer Meridiane. Und die Alten haben in der That in der Angabe der geographischen Längen beträchtliche Irrthümer sich zu Schulden kommen lassen. Wir werden in der Folge diesen Gegenstand ausführlicher behandeln, und die verschiedenen Mittel angeben, deren man sich heutzutage bedient, um die geographischen Längen mit größter Genauigkeit zu bestimmen.

Physische Beschaffenheit und Rotation des Mondes.

59. Wir können die Naturgeschichte des Mondes nicht wohl schließen, ohne noch einige Worte über seine physische Beschaffenheit hinzuzufügen. Man hat es nicht an Untersuchungen fehlen lassen, um

zu erfahren, ob die Wirkungen des Mondlichts jenen der Sonnenstrahlen ähnlich wären? Man hat sich aber überzeugt, daß, wenn die Strahlen des Mondes in den Brennpunkt der größten Spiegelgläser gesammelt würden, sie dennoch nicht auf einen Thermometer, welcher selbst eine Differenz von $\frac{1}{100}$stel Grad in der Temperatur abschätzen läßt, auch nur die geringste Wirkung äußerten. Ebenso erkannte man, daß das Mondlicht nicht, wie man doch allgemein glaubt, die Farben verändere: zu diesem Zweck hatte man in den Brennpunkt einer Lupe Silbersalz (chlorure d'argent) angebracht, welches von allen metallischen Compositionen dasjenige, das durch die Berührung des Lichtes am schnellsten sich verflüchtigt, aber die Mondstrahlen hatten dennoch keinen merkbaren Einfluß auf dasselbe. Zuletzt beschloß man auf direkte Weise die Intensität des Mondlichts zu messen, man sammelte zu diesem Behufe die Strahlen des Vollmondes in den Brennpunkt einer Lupe, und zwar so, daß sie in ihrer Verlängerung einem Lichtschirm begegnen mußten, welcher so eingerichtet war, daß er sie auffangen konnte; die Klarheit des Lichts, welches sie hier zurückließen, ist gleich dem Grade der Intensität jenes Lichts, von welchem sie emaniren. Bouguer hatte also durch Vergleichung des Mondlichts mit dem Sonnenlichte erkannt, das es 300,000mal schwächer sei als das Sonnenlicht, wodurch erklärt ist, warum das Mondlicht auf den Thermometer und die Farben eine so schwache Wirkung hervorbringt.

Man bemerkt, wenn man den Mond mit großen Ferngläsern betrachtet, auf demselben viele Flecken, deren Contouren eine sehr unregelmäßige Gestalt haben. Einige derselben changiren nicht, andere aber wechseln ihre Gestalt und variiren überhaupt mit der Höhe der Sonne. Diese letztern sind sichtbar durch die Schatten gebildet, welche die erhaben-

sten Punkte der Mondoberfläche auf die niedrigern hervorbringen; und man hat durch ihre Ausdehnung und Richtung erkannt, daß der Mond von hohen Gebirgen gleichsam starrt, und von unermeßlichen tiefen Thälern durchfurcht ist. Man hat sogar mittelst einer sehr sinnreichen Vorrichtung die Höhe jener Berge gemessen. Zu diesem Zwecke beobachtet man den Mond, wenn er von den Sonnenstrahlen noch nicht ganz erleuchtet ist; die Gebirge, welche sich in der Gegend erheben, wo die Grenzlinie zwischen Schatten und Licht sich befindet, bringen auf der dunkeln Seite schimmernde Stellen hervor, welche durch den Progreß der Phasen allmählig sich verdichten, indem sie stets noch einen schattigen Streif zwischen ihnen und dem erleuchteten Theil zurücklassen, was zur Folge hat, daß die Sonne zuvor ihren Gipfel berühren muß, ehe sie die Grundfläche erleuchten kann. Denke man sich (Fig. 47) a als eine dieser Stellen, ziehe die Tangente ab zur Mondscheibe, und nehme an, die Sonne sei in S auf der Verlängerung dieser geraden Linie, so wird die Partie bh im Schatten sich befinden, aber der Punkt a wird in gleicher Zeit mit dem Punkt b erleuchtet sein, und früher, als er es gewesen wäre, wenn die Fläche des Mondes vollkommen sphärisch sein möchte. Im rechtwinkeligen Dreieck abc wird man haben $ac^2 = ab^2 + bc^2$; man wird sodann bc als den Halbmesser des Mondes haben. Indem man den Abstand des Punktes a von dem Kreise, welcher die lichte und die dunkle Seite der Mondscheibe von einander sondert, ausmessen wird, wird man ab erhalten, also durch die vorhergehende Gleichung ac bestimmen, und zieht man $ch = cb$ ab, so erhält man ah oder die Erhöhung des Punktes a über der Mondoberfläche. Indem man auf diese Weise die Höhe der vornehmsten Gebirge des Mondes ausrechnete, erkannte man, daß sie in Bezug zu der

Dimensionen des Mondes weit höher sind als die Gebirge unserer Erde, der kleinste unter ihnen wird mindestens 3000 Meter hoch sein, und Berge von zwei Meilen Höhe gehören also auf dem Monde zu den gewöhnlichen.

Die verschiedenen Flecken, die man auf der Mondoberfläche gewahrt, sind mit Sorgfalt beobachtet und beschrieben worden, zuerst von Dominik Cassini, dann von Lahire und vielen andern Astronomen; man hat allen diesen Flecken besondere Namen gegeben, und mittelst derselben ordentliche Karten entworfen, welche uns die Oberfläche des Mondes eben so genau darstellen, wie unsere Erdkarten jene Kugel, die wir selbst bewohnen.

60. Eine aufmerksame Beobachtung der Mondflecken hat zu einem noch wichtigern Resultat geführt; indem wir dadurch die Art der Rotation des Mondes kennen lernten, und durch ein analoges Verfahren wie bei der Sonne, auch hier alle Umstände zu erforschen, welche auf die Bewegung des Mondes influiren. Weil der Mond uns stets nur dieselbe Seite zukehrt, so konnte man leicht schließen, daß er gleichzeitig sich um die Erde und um sich selbst drehe. Betrachten wir den Mond auf verschiedenen Stellen seiner Bahn ABCD (Fig. 48), wenn er im L ist, und dem im T stehenden Beobachter seine Hemisphäre abc zukehrt, von hier aus in das L′ eintritt, ohne sich um seinen eigenen Mittelpunkt gedreht zu haben, so wird er demselben Beobachter die Hemisphäre ac′b zuwenden; damit die der Erde zugekehrte Hemisphäre dieselbe sei, wenn der Mond im L ist, und wenn er im L′ ist, muß er um seinen Mittelpunkt eine halbe Umdrehung bereits vollendet haben, während er 180° in seiner Bahn durchlaufen hat; wird er zum Punkt L″ gelangen, d. h. zu 270° des Punktes L, so wird er bereits drei Viertheile seiner Umwälzung zurückgelegt haben, und

so auch weiter, d. h. es muß wie die Beobachtungen zeigen, damit die Dauer der Umdrehung des Mondes um seine eigene Axe seiner Umdrehung um die Erde ganz gleich sei, der Mond uns stets dieselbe Seite zukehren.

Dennoch haben aufmerksame Beobachtungen der uns zugekehrten Mondhemisphäre gezeigt, daß einige unbedeutende Veränderungen in seinem Aussehen vorgehen. Zwar wechseln die Mondflecken nie ihre Position, allein einige derselben, die sich am Rande der Scheibe befinden, kommen und verschwinden abwechselnd, als ob die Mondkugel um ihren Mittelpunkt ein kleines Schwanken zeige. Die Astronomen haben dies die Libration, genannt. Man unterscheidet am Monde drei verschiedene Arten der Libration, die wir alle nach der Reihe in den Kreis unserer Forschung ziehen werden.

Nehmen wir an, daß Jemand vom Mittelpunkt der Erde aus zum Mittelpunkt des Mondes einen Radius Vector ziehe, so muß, wenn die drehende Bewegung dieses Gestirns der transferirenden Bewegung nicht ganz gleich ist, dieser Radius nach und nach die Mondfläche an verschiedenen Stellen berühren; und so gering auch die Verschiedenheit zur Zeit des Ursprungs der Bewegung gewesen sein mag, so werden wir doch im Verlauf der Jahrhunderte auch zur Kenntniß der andern Hemisphäre des Mondes gelangen müssen. Wenn aber die transferirende Bewegung bloß einigen periodischen Ungleichheiten unterworfen ist, an welchen die drehende Bewegung keinen Theil hat, so wird der, die Mittelpunkte beider Gestirne verbindende Radius Vector bald nach der einen Richtung, bald nach der andern, sich von der Position entfernen müssen, die er haben müßte, wenn eine ganz genaue Gleichheit zwischen den beiden Bewegungsformen statt hätte und die Mondkugel wird um diesen Radius Osci

lationen machen müssen, welche den Ungleichheiten der beiden Bewegungsformen entsprechen. Die Wirkung dieser Oscillationen wird jene sein, daß sie uns abwechselnd irgend eine Seite der Mondfläche zeigen oder verbergen, und diese Erscheinungen nennt man die Libration in der Länge.

Der Mond ist noch einer andern Art von Libration unterworfen, die davon herkömmt, daß seine Rotationsaxe nicht ganz perpendikulär von der Ebene seiner Bahn ist. Daraus folgt, daß, je nachdem uns diese Axe entweder ihre größte oder ihre mindeste Schiefe zeigt, wir nach und nach, während eines siderischen Umlaufs des Mondes, seine beiden Pole der Umdrehung entdecken müssen, folglich auch die ihnen benachbarten Flecken; wie ja auch ein in der Sonne placirter Beobachter abwechselnd den Südpol und den Nordpol des Erdsphäroids, durch die Wirkung der Neigung der Axe gegen die Ebene der Ekliptik, wahrnehmen müßte. Dieser Theil des Phänomens heißt die Libration in der Breite. Endlich die dritte Art der Libration hängt davon ab, daß der Beobachter nicht auf dem Mittelpunkte der Erde placirt sei, gegen welchen, wie angenommen ist, der Mond stets nur die eine Hemisphäre zukehrt. Da dieses Gestirn unserer Erde so nahe ist, folgt daraus, daß die Gesichtsstrahlen die von unserm Auge zu seinem Mittelpunkt führen, in Bezug zu jenem Radius, welcher, je nachdem sich der Mond über dem Horizont erhebt, die Mittelpunkte der beiden Himmelskörper vereinigt, ihre Richtung ändern. Je mehr der Mond sich dem Scheitelpunkt nähert, desto näher kömmt auch der von uns gesehene Theil seiner Fläche derjenigen, welche wir vom Mittelpunkt der Erde aus sehen würden; endlich coincidiren die beiden Flächen vollkommen, wenn der Mond in den Scheitelpunkt tritt, weil alsdann der von unsrem Auge zu seinem Mittelpunkt führende Strahl

sich mit jenem confundirt, welcher die Mittelpunkte der Erde und des Mondes verbinden würde. Wir befinden uns also, um ihn zu beobachten, in derselben Position, als wären wir im Mittelpunkt der Erde placirt. In jeder andern Situation müssen wir gegen den obern Rand des Mondes Stellen gewahren, welche man vom Mittelpunkt der Erde aus nicht bemerken könnte, während wir gegen den untern Rand andere Stellen, welche von diesem Mittelpunkte aus sichtbar sein müssen, nicht mehr bemerken. Diese Veränderungen, welche sich stets von dem Aufgang bis zum Untergang des Mondes einander folgen, machen jenes Phänomen aus, welches man die tägliche Libration genannt hat.

Diese drei partialen Librationen bilden die totale Libration des Mondes. Man sieht, daß die Libration in der Breite und die tägliche Libration nur optische Erscheinungen sind, die von der Neigung des Mondäquators gegen die Ebene seiner Bahn, oder von der Position des Beobachters auf der Erdoberfläche abhängig sind. Die Libration in der Länge hat ebenfalls keine wirkliche Ursache, d. h. sie hängt ebenso wenig von einer oscillatorischen Bewegung ab, welche der Mond um seinen Mittelpunkt haben würde. In der That zeigt die Berechnung, daß seine drehende Bewegung äußerst gleichförmig angenommen werden muß, und daß sein scheinbares Schwanken nur eine von den Ungleichheiten in der Bewegung der Sonne herrührende Illusion ist. Wir werden übrigens sehen, daß die Libration in der Länge so sehr unbeträchtlich sei, daß es äußerst schwer halten muß, sie durch die Beobachtung bestimmen zu wollen.

Nachdem nun die drehende Bewegung des Mondes erwiesen worden, mußten die Astronomen darnach trachten, die Axe, um welche diese Bewe-

gung geschieht, und die Position des ihr perpendiculären Mondäquators zu bestimmen. Auch zu dieser Entdeckung verhalf die Beobachtung der Mondflecken. Man erkannte demnach: 1) daß der Mondäquator gegen 1½° zur Ebene der Ekliptik geneigt ist, diese Neigung ist keiner Veränderung unterworfen; 2) daß der Mondäquator und die Mondbahn die Ebene der Ekliptik, zweien unter sich parallelen Linien folgend, durchschneiden, so daß die mittlern Knoten der Mondbahn stets mit jenen des Aequators coincidiren. Die Knoten der Mondbahn haben gegen die Ekliptik eine rückgängige Bewegung, durch welche sie den Umfang eines Kreises innerhalb 6793,465 T. beschreiben. Damit die vorhergehende Coincidenz stets Bestand habe, müssen die Knoten des Mondäquators gegen die Ekliptik eine ziemlich gleiche Bewegung haben, und auch in derselben Richtung zugekehrt sein.

Man denke sich, daß Jemand durch den Mittelpunkt der Erde zwei Flächen ziehe, deren eine die Mondbahn vorstellt, die andere parallel vom Mondäquator, so werden diese beiden Flächen und die Ebene der Ekliptik, einer und derselben geraden Linie folgend, sich durchschneiden, und diese gerade Linie wird gegen die Ekliptik eine rückgängige Bewegung haben, welche sie in 6793,465 Tagen wird 360° beschreiben lassen. Diese verschiedenen Resultate machen die astronomische Theorie der Bewegungen des Mondes um seinen Mittelpunkt aus, welche Lehre man Dominik Cassini verdankt, und die seitdem von Tobias Meier und andern Astronomen noch mehr ausgebildet worden ist.

61. Wenn man den Mond durch eines der größern Teleskope beobachtet, so erscheint er als eine sterile trockene Masse, auf deren Oberfläche man Spuren vulkanischer Eruptionen zu gewahren glaubt. Neue Flecken, die man daselbst sich bilden sah, und leuchtende Punkte, die man öfter auf seiner dunklen

Seite bemerkt, und die vor ihrem Verlöschen sehr hell geglänzt hatten, ließen vermuthen, daß es noch jetzt auf dem Monde unausgebrannte Vulkane gebe, die, gleich dem Vesuv und Aetna zeitweise ihre Thätigkeit aussetzen. Einige Physiker wollen sogar die Aerolithen oder Luftsteine, welche aus dem Himmel auf die Erde fallen, von diesen Eruptionen herleiten. Diese Annahme ist nicht so unwahrscheinlich, denn wir haben bereits gesagt, daß, wenn ein schwerer Körper aus dem Monde zur Erde fallen sollte, er nur die vierfache Wurfkraft der aus der Mündung einer Kanone hervorgeschleuderten Kugel zu besitzen brauchte; und die Vulkane der Erde haben bekanntlich eine noch weit beträchtlichere Wurfkraft. Wie dem auch sei, die auszeichnende Eigenschaft dieser fremdartigen Körper besteht darin, daß sie alle von gleichem Stoffe sind. Ihre Außenseite ist schwärzlich, als wären sie verkohlt, die Innenseite schmutzig weiß, ihre Größe aber verschieden. Diese Massen sind gewöhnlich von Meteoren begleitet, die man Boliden oder Feuerkugeln nennt, und welche in der Mitte der von ihnen ungemein schnell durchsegelten Atmosphäre plötzlich aufleuchten. Der Aerolith verpufft zugleich, indem er zur Erde fällt. Indem man an verschiedenen Orten der Erde die Parallaxe dieser Steine im Moment ihrer Explosion zu bestimmen versuchte, überzeugte man sich, daß sie aus sehr weiter Höhe herabkommen, und nicht selten 15 Meilen bis zur Erde zurücklegen. Die Aerolithen enthalten fast alle in denselben Proportionen Magnesia, Kieselerde, Schwefel, Eisen im metallischen Zustande, Nickel und etwas Chromium. Nun aber ist bekannt, daß auf der Erde keine Körper im metallischen Zustand angetroffen werden, auch Nickel ist sehr selten, und findet sich nur in den Tiefen der Erde vor. Demnach können die Aerolithen nur einen fremden Ursprung haben,

d. h. sie können sich nicht in unserer Atmosphäre erzeugt haben.

Wir haben gesehen, wie das Bedecktsein der Sterne durch den Mond den Beweis abgab, daß der letztere keine merkliche Atmosphäre besitze. Hätte er überhaupt eine solche, müßten sich, wie auf unserer Erde Wolken bilden, die nach und nach irgend einen Theil der Mondfläche uns verschleiern würden. Da dies aber nicht der Fall ist, so können auf dem Monde weder Meere noch andere flüssige Substanzen, nicht einmal Wasser im gefrornen Zustande vorhanden sein, weil im leeren Raum alle diese Substanzen sich in Dunst auflösen müßten. Kein für unsere Erde organisirtes Geschöpf könnte auf dem Monde fortkommen, weil daselbst Alles fest und hart ist. Und wenn auch auf dem Monde lebende Wesen vorausgesetzt werden dürfen, so sind sie gewiß ganz anders organisirt als die Bewohner der Erde. Auch die Klimate auf dem Monde müssen ganz verschieden von den unsern sein; da der Mondäquator höchstens um 1° gegen die Ebene der Ekliptik sich neigt, so entfernt sich die Sonne nur unbedeutend von der Ebene des Aequators; folglich herrscht dort ein ewiger Frühling; und für die Bewohner der Polgegenden wird die Sonne sich nicht ganz über den Horizont erheben. Die Mondtage werden demnach 27mal länger als die unsrigen sein. Auch wird zwischen einem Tage und einem Jahre auf dem Monde keine merkliche Ungleichheit stattfinden, weil die Dauer eines mittlern Umlaufs des Mondes um die Erde seiner Umlaufszeit um sich selbst gleich ist. Endlich bedenke man, daß die Bewohner der uns nicht zugekehrten Mondhemisphäre nie unsere Erde gesehen haben können, und unsere Erde leuchtet den Mondbewohnern eine Nacht hindurch, deren Länge einem halben Erdenmonat oder 15 Tagen gleichkömmt. Und

die Abwesenheit der Sonne gibt den Mondbewohnern keinen Ersatz, wie wir ihn im Monde haben.

Von den Einwirkungen, die man den Mondphasen zuschreibt.

62. Seit den frühesten Zeiten bis auf unsere Tage hat man dem Mondwechsel einen Einfluß auf die atmosphärischen Erscheinungen, auf die Vegetation, wie auch auf die ganze belebte Schöpfung zugeschrieben. Ueber diesen Gegenstand könnte nur die Erfahrung Aufschluß geben. Leider aber sind die gesammelten Beobachtungen nicht in so großer Anzahl vorhanden, um zu sichern Schlüssen zu verhelfen. Das Folgende enthält noch das Beachtungswertheste, was bis jetzt über diese Materie gemuthmaßt worden ist.

Die Volksmeinung läßt jeden Mondwechsel eine Veränderung des Wetters zur Folge haben. Die Astronomen, Physiker und Geologen bekämpften lange Zeit diese Meinung, indeß seit einigen Jahren hat die Wissenschaft derselben mehr Aufmerksamkeit geschenkt, indem man sich durch die Beobachtung überzeugte, daß der Volksansicht etwas Wahres zu Grunde liege, nur hat die Ursache dieses Phänomens bis jetzt sich noch der Forschung entzogen. Schübler in Stuttgart, der 28 Jahre hindurch alle Regentage verglich, will gefunden haben, daß die meisten im zunehmenden Monde zutrafen; die Regentage in der Zeit des abnehmenden Mondes verhielten sich zu den erstern in der Zahl wie 5 zu 6. Dies Maximum fand um die Zeit statt, wo der Mond aus dem ersten Viertel ins zweite übergeht, und das Minimum zwischen dem letzten Viertel und dem Neumonde. Pilgram in Wien fand, daß die Regenschauer mit der An=

näherung des Mondes zur Erde zunehmen, ebenso verhält sich die Zahl der Regentage, wenn der Mond im Perigeum seiner Bahn ist, zu jenen in der Zeit seines Apogeums wie 1169 zu 1096.

Die Veränderungen des Barometers stehen bekanntlich mit der Erzeugung des Regens und Windes in Rapport, das Sinken der Quecksilbersäule deutet auf bevorstehenden Regen, das Steigen derselben auf heiteres Wetter. Der Einfluß des Mondes auf Regen und Wind muß sich demnach in den Veränderungen der mittlern Höhen des Barometers in den verschiedenen Phasen offenbaren, ebenso wie durch direkte Beobachtungen, und wirklich bestätigt die Erfahrung dasselbe. Flaugergues in Frankreich und Howard in England, Toaldo in Italien und neuerlich noch Bouvard auf der Pariser Sternwarte, stimmen Alle überein, daß die Quecksilbersäule im ersten und dritten Mondviertel höher stehe als in den Syzygien. Diesem Resultat zufolge kommen die meisten Regentage auf die Syzygien, und somit bestätigt sich, was Schübler sagte, daß die beiden Zahlen sich zu einander verhalten wie 643 zu 609. Die mittelst des Barometers gemachten Beobachtungen zeigen ferner, daß die mittlere Höhe des Quecksilbers am Tage des Apogeums die mittlere Höhe desselben am Tage des Perigeums bei weitem übersteige. Also muß die Anzahl der Regentage im Perigeum weit beträchtlicher sein als im Apogeum, wie dies durch Schüblers direkte Beobachtungen auch wirklich bestätigt wird.

Demnach scheint gegen die Meinung der Gelehrten bewiesen, daß der Mond auf unsere Atmosphäre einen Einfluß habe. Demungeachtet mögen wir uns für keine von beiden Meinungen entscheiden, indem man noch mehre meteorologische Untersuchungen abwarten muß, um mit Sicherheit auf diese Frage zu antworten.

Man schreibt ferner dem Monde einen direkten Einfluß auf die Erscheinungen im Bereiche der Vegetation zu. Die Landleute geben dem Monde, welcher im April aufgeht, und am Ende dieses Monats voll wird, den Beinamen der rothe Mond. Sie glauben, sein Licht besitze um diese Zeit die Eigenthümlichkeit, die jungen Knospen der Pflanzen gefrieren zu machen, und ihnen dadurch eine rothe Farbe zu geben, selbst wenn der Thermometer eine Temperatur von mehren Graden über dem Gefrierpunkt anzeigt. Dieses Phänomen kündigt sich stets durch heiteres Wetter an. Wenn der Himmel mit Wolken bedeckt ist, welche die Strahlen des Mondes auffangen, findet es nicht statt. Die Physiker haben diesen Volksglauben lange Zeit für ein Vorurtheil gehalten, neuerlich aber hat man eine befriedigende Erklärung dieses Phänomens aufgefunden, indem man es mit andern physischen Phänomenen verglich, deren wirkliches Vorhandensein unbezweifelt ist. Die Beobachtungen eines Wells haben bestätigt, daß zwischen der Temperatur tellurischer Körper und jener der sie umgebenden Luft ansehnliche Verschiedenheiten stattfinden können. Diese manifestiren sich aber nur dann auf merkbare Weise, wenn das Wetter vollkommen heiter ist; sie verschwinden, wenn sich der Himmel umwölkt. Man schreibt die Ursache dieser Phänomene der Eigenthümlichkeit zu, welche auf verschiedene Art erhitzte Körper besitzen, durch die Wirkung des Ausstrahlens in eine gleichmäßige Temperatur zu gerathen. Es ist also erlaubt, jene dem rothen Monde zugeschriebenen Wirkungen durch analoge Consequenzen auch bei dem Wachsthum der Pflanzen gelten zu lassen. Man begreift also leicht, daß in den Nächten Ausgangs Aprils oder Anfangs des Maimonats, wo die Temperatur der Atmosphäre sich nicht über 5 oder 6° C. über Null sich erheben, die Pflanzen, indem sie 7 oder 8°

ihrer Temperatur durch die Entweichung des ausfließenden Wärmestoffs aufgeben, bei heiterem Himmel gefrieren müssen, oder was auf dasselbe herauskömmt, wenn sie dem Mondlichte ausgesetzt sind. Ist aber der Himmel umflort, hört das Ausfließen auf, so sind die Temperatur der Pflanzen und jene der Atmosphäre sich dann gleich, und sie könnten nur dann gefrieren, wenn der Thermometer auf Null herabsänke. Das Mondlicht hat also keinen direkten Einfluß auf das Gefrieren der jungen Knospen, aber diese Erscheinung zeigt einen besondern Zustand der Atmosphäre an, dessen Vorhandensein bedingt ist, wenn jenes Phänomen statthaben soll.

Das Ausschwitzen, welches die Temperatur der Pflanzen unter jene der atmosphärischen Luft herabsinken läßt, erklärt auch die dem Mondlicht zugeschriebene Eigenschaft, über alle demselben ausgesetzten Körper Feuchtigkeit zu verbreiten, und die Verwesung der thierischen Materie zu beschleunigen. So wird ein bei heiterem Himmel der Luft ausgesetzter Körper kälter sein als die Atmosphäre, welche ihn umgibt. Diese wird auf seine Oberfläche einen Theil ihrer Feuchte deponiren, auf diese Art ungefähr erklärt sich auch die Erzeugung des Thau's. Wenn man zwischen einem Körper und dem Himmel einen Lichtschirm hinstellen wollte, welcher das Licht der Gestirne und die Mondstrahlen auffinge, so würde man das Ausschwitzen verhindern; die thierischen Substanzen, die von ihnen berührt werden sollten, werden dann keine fremde Feuchtigkeit in sich aufnehmen, und man hemmt sodann den Prozeß ihrer Auflösung, welcher davon die unvermeidliche Folge ist. Der dem Mondlicht zugeschriebene Einfluß ist also in dieser Beziehung nicht ganz unbegründet, und der Irrthum bestand nur darin, daß man für die Ursache des Phänomens einen

Umstand gehalten hat, welcher bloß das Anzeichen desselben ist.

Was den geglaubten Einfluß des Mondwechsels auf das Sprossen der jungen Saat, auf das Wachsthum der Pflanzen, auf die Qualität der Ernte und den Holzschlag, auf die Gesundheit der Menschen und Thiere betrifft, so wäre es überflüssig und unnütz, uns bei der Erklärung von Phänomenen, deren Vorhandensein bewiesen ist, aufhalten zu wollen, und wir verweisen diejenigen, welche über einen mehr in das Gebiet der Meteorologie als in die Astronomie einschlagenden Gegenstand ausführlicher sich unterrichten wollen, auf zwei in dem Jahrbuch des Längenbüreau's für 1823 und 1833 von Olbers und Arago veröffentlichten Aufsätze.

Sechstes Kapitel.

Von der Erde.

Ihre Unbeweglichkeit ist nur scheinbar. — Drehende Bewegung um ihren Mittelpunkt. — Transferirende Bewegung um die Sonne. — Bewegung der Pole. — Schwankung der Erdaxe und Präcession der Aequinoktien. — Consequenzen, welche aus der Bewegung der Erde erfolgen. — Veränderungen ihrer Schwere. — Abirrung des Lichtes. — Passatwinde.

63. Bevor wir tiefer in das Studium von der Bewegung der Himmmelskörper eindringen, ist eine genauere Kenntniß der Erdkugel erforderlich, von welcher aus wir jene Erscheinungen beobachten.

Als es sich von den Sternen handelte, konnten wir, wegen ihrer sehr weiten Entfernung, die Erde in der That für einen unbeweglichen Punkt im Raume halten; bei der Sonne und dem Monde war es nicht mehr der Fall; denn da die Phänomene mit den von uns auf der Erde eingenommenen Standpunkten wechseln, so mußten wir auf ihre Dimensionen Acht haben, und wenn wir auch dann noch an ihre Unbeweglichkeit glaubten, so kam dies daher, weil wir die Bewegungen der Sterne nur in Beziehung zu uns, nicht aber ihre absoluten Bewegungen in Betracht zogen. Wir hätten aber dann von ihrem Laufe einen sehr unvollkommenen Begriff; um uns bis zum großen Prinzip des Weltalls

zu versteigen, müssen wir jedoch die Gesetze der wirklichen Bewegungen der Gestirne von den scheinbaren Bewegungen unterscheiden können. Dazu wird erfordert, daß wir in jedem Augenblick die Position, die wir im Raume einnehmen, zu bestimmen wissen, vorausgesetzt, daß diese nicht, wie wir bisher annahmen, unwandelbar sei. Nehmen wir nun die Wahrscheinlichkeit und die Analogie zu Führerinnen auf dem eben betretenen Pfade, so werden nach den erhaltenen richtigern Begriffen unsere Zweifel hierüber gänzlich schwinden.

Drehende Bewegung.

Unsere ersten Eindrücke haben uns von der Gestalt der Erde eine falsche Vorstellung beigebracht; wir hielten sie für eine ebene Fläche, auf welche das Himmelsgewölbe sich stützt; eine aufmerksamere Untersuchung hat aber unsere Vorstellungen von diesem Gegenstande schon so weit berichtigt, daß wir wissen, die Erde habe eine Kugelgestalt und sei isolirt im Raume. Jetzt wollen wir uns auch überzeugen, ob die geglaubte Unbeweglichkeit der Erde nicht ebenfalls eine Täuschung unserer Sinne war?

Wenn wir erwägen, daß alle Himmelskörper isolirt von einander, in sehr verschiedenen Entfernungen von der Erde sich bewegen, — denken wir uns dann immerhin noch eine Weile, die Erde sei der unbewegliche Mittelpunkt des Weltalls, und daß alle Sterne um unsere Erde sich drehen, — so werden wir doch, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung uns zu erklären, genöthigt sein, jedem dieser Gestirne eine seiner Entfernung von der Erde verhältnißmäßige Bewegung zuzugestehen, folglich wird die den Sternen beigelegte Bewegung wegen ihrer sehr weiten Entfernung von uns eine immense sein müssen; ferner wird die der Planeten,

wie ihre scheinbaren Durchmesser, deren Veränderungen beweisen, daß sie nicht immer in gleicher Weite von uns sich befinden, variiren müssen; nebstdem würde die Theorie dieser Gestirne, welche, wie wir bereits wissen, eine doppelte Bewegung haben (eine transferirende im Raume und eine um ihren eigenen Mittelpunkt), durch diese dritte Bewegung, welcher man sie unterwerfen müßte, noch complizirter werden; ferner müßten die den Weltraum in allen Richtungen durchschneidenden Kometen von einer gleichen Bewegung getrieben sein; zuletzt würde nichts unwahrscheinlicher sein, als die vollkommenste Uebereinstimmung hinsichtlich der Schnelligkeit dieser, in Anbetracht ihrer Entfernungen und natürlicher Beschaffenheit so sehr von einander verschiedenen Himmelskörper, wenn sie auf eine so gleichmäßig unveränderliche Weise ihre tägliche Umwälzung um die Erde vollenden sollten. Jeder wird aber gern zugeben — sei es nun, daß der Himmel alle diese Sterne um die unbeweglich geglaubte Erde im ewigen Kreise sich drehen lasse, oder daß die Erde in entgegengesetzter Richtung in Zeit von 24 Stunden sich um ihre Pole drehe — es müsse doch weit einfacher und wahrscheinlicher sein, der Erde diese letztere Bewegung beizulegen. Wir werden dann gezwungen, die Sterne für fixe Punkte zu halten, und die andern Gestirne an der täglichen Bewegung, ohne daß ihre eigene Bewegung dadurch eine Veränderung erleide, partizipiren zu lassen. Endlich wird noch die drehende Bewegung der Erde alle Zeichen von Gewißheit erlangen, wenn wir uns ins Gedächtniß zurückrufen, daß man an der Sonne eine ähnliche Rotation bemerkt, und wenn wir sehen, daß alle Planeten in einem Zeitraume, welcher von der Dauer eines Tages wenig verschieden ist, um ihren eigenen Mittelpunkt sich bewegen.

Die Messungen auf der Oberfläche der Erde und die Entdeckungsreisen um die Welt haben bewiesen, daß die Gestalt der Erde von der sphärischen Figur sich wenig unterscheidet, der Umfang ihres Aequators beträgt 9000 Meilen. Kraft ihrer drehenden Bewegung wird jeder Punkt des Aequators in 24 Stunden diese Strecke durchlaufen, d. h. 375 Meilen in der Stunde oder 238 Toisen in der Sekunde. Dem ersten Anschein zufolge ist diese Schnelligkeit etwas zu rasch, vergleicht man aber damit die ans Wunderbare grenzende Schnelligkeit, die man der Sonne beilegen müßte, wenn diese sich um die früher für unbeweglich gehaltene Erde drehen sollte, so fällt das Unwahrscheinliche der Sache ganz weg. In der That müßte man auch, da der Abstand der Sonne von der Erde mindestens 33 Millionen Meilen beträgt, die Schnelligkeit der Sonne, wenn sie einen Zirkel von einem ähnlichen Halbmesser in 24 Stunden umlaufen soll, auf 2500 Meilen in der Sekunde abschätzen. Die Schnelligkeit der Sterne müßte dann noch unendlich größer sein. Also wäre der Einwurf, den man in der Hypothese von der Unbeweglichkeit der Himmelssphäre gegen die große Schnelligkeit, welche die drehende Bewegung der Erde jedem Punkte ihrer Oberfläche mittheilt, erheben würde, vor der einfachen Prüfung der Consequenzen, welche die entgegengesetzte Hypothese nach sich zieht, in sein Nichts zerfallen.

Eine Grundlehre der Mechanik ist, daß ein Körper, welcher durch irgend eine Impulsion in Bewegung gesetzt wird, stets eine gerade Richtung nimmt, so lange er nicht durch die Einwirkung einer neuen Kraft von seiner frühern Richtung abgelenkt wird. Jede curvenartige Bewegung setzt also die Wirkung zweier vereinigten Kräfte voraus, die eine wird angewendet, um das Mobile in Bewegung zu setzen, die andere, um es in seiner Bahn zurückzu-

halten, und es zu verhindern, daß es in jedem Augenblick in gerader Linie, der Tangente zur von ihm beschriebenen Curve folgend, sich entferne. Darum sieht man auch einen in die Höhe geworfenen Körper kreisförmig in einer Schleuder ausfahren, sobald die Hand, welche ihn zurückhielt, die eine Schnur des Geräthes locker gemacht hat. Die Kraft, welche der bewegliche Gegenstand anwendet, um sich vom Mittelpunkt der Bewegung zu entfernen, nennt man die Centrifugalkraft. Diese Kraft muß den Massen der Körper, welche sie belebt, proportionirt sein, und wir werden in der Folge sehen, daß sie sich mit den Quadraten ihrer Geschwindigkeiten zugleich steigert, d. h. wenn die Geschwindigkeit eine verdoppelte ist, so wird die Centrifugalkraft sich vervierfachen u. s. w. Man erwäge doch, daß sie die Macht besitzen soll, die Centrifugalkraft der Sonne im Gleichgewicht zu erhalten, deren Masse 354594mal größer ist als jene der Erde, und an Schnelligkeit diese 24000mal übertrifft. Wo wäre außerdem der Brennpunkt dieser Kraft und derjenigen, welche die andern Sterne enthielten? Unzweifelhaft im Mittelpunkt der respektiven Kreise, welche sie beschreiben, d. h. auf der Weltaxe an fingirten Punkten, wo kein unsern Sinnen wahrnehmbarer Körper sich befindet. Allen Naturgesetzen entgegen müßte dann die Intensität dieser Kraft verhältnißmäßig zunehmen, je weiter sie sich vom Mittelpunkt der Wirkung entfernen würde, damit die Umläufe der entferntesten Gestirne mit den der Erde nähern in gleichem Zeitraume sich vollenden könnten. Diese unauflösbaren Schwierigkeiten verschwinden aber, sobald man eine drehende Bewegung der Erde zugibt.

Die Gestalt unserer Erde ist nicht ganz eine sphärische, der Durchmesser des Aequators ist etwas größer als jener der Pole, er hat also die Gestalt

eines Sphäroids, das in der Gegend der Pole abgeplattet ist. Nimmt man nun an, daß die Erde ursprünglich in flüssigem Zustande gewesen sei, und daß der Stoff, aus welchem sie besteht, nach allmähliger Abkühlung die heutige Gestalt angenommen habe, so mußte die Centrifugalkraft, welche dahin strebt, alle Elemente eines Körpers von seiner Rotationsaxe zu entfernen, die Regionen des Aequators etwas erheben, und jene unter den Polen senken. Die Gestalt der Erde ist also, zufolge den auf ihrer Oberfläche gemachten Beobachtungen, ein neuer Beweis zu Gunsten ihrer drehenden Bewegung.

So vereinigt sich denn Alles, um uns zu zeigen, daß der Eindruck, welchen die tägliche Bewegung der Himmelssphäre auf uns macht, auf einer Sinnentäuschung beruhe; ähnlich derjenigen, welche man auf einem segelnden Schiffe erfährt, indem Bäume und Gebäude, die das Ufer begrenzenden Gebirge u. s. w. vor uns zu fliehen scheinen; man ist dann geneigt zu glauben, daß man nicht selber sich fortbewege, sondern der Boden, welchen man eben verlassen hat. Wenn also der Schiffer, welcher sicher weiß, daß nicht die Erde, sondern er selber es ist, welcher sich fortbewegt, dennoch durch seine Sinne getäuscht wird, um wie viel mehr mußte man nicht die Sonne sich um die von uns bewohnte Erde drehend glauben, da wir nichts um uns hatten, das uns überzeugen konnte, daß wir selbst es seien, die mit dem Boden, auf welchem wir wohnen, uns fortbewegen, auch am Himmel sich nichts unsern Blicken darbietet, was uns die scheinbare Bewegung der Sterne von der wirklichen unterscheiden lehrte. Nur die Beurtheilungskraft und die Zusammenstellung der Phänomene können uns hier denselben Dienst leisten, welchen der Schiffende der Erfahrung und der Erinnerung verdankt. Sie sind

es allein, die uns die falschen Vorstellungen benehmen, zu deren Einwurzelung die Lebhaftigkeit der ersten Eindrücke und die Vorurtheile der Unwissenheit vielleicht noch mehr beigetragen haben als die Täuschung unserer Sinne. Daher mußten zahllose Beobachtungen und Berechnungen der Astronomen vorausgehen, um uns als eine unbestreitbare Wahrheit hinzustellen, daß die Erde in Zeit von 24 Stunden in einer gleichmäßigen Bewegung von West nach Ost sich um die Weltaxe drehe, während die Sterne am Himmel eine unbewegliche Stellung einnehmen.

Transferirende Bewegung.

64. Die Erklärung der täglichen Bewegung führt uns dahin, mit erneuerter Aufmerksamkeit alle Umstände der jährlichen Bewegung zu erforschen. Im vierten Kapitel sagten wir, wie die jährliche Bewegung der Sonne in der Ekliptik die Reihefolge der Jahreszeiten und die Veränderungen erklärte, welche wir während der Dauer eines Tages wahrnehmen. Laßt uns nun sehen, ob dieselben Erscheinungen sich nicht auch denken ließen, wenn man die Sonne für unbeweglich hält, und dafür der Erde die Bewegung zuschreiben, die wir der Sonne beigelegt hatten.

Beachten wir zuerst, man dächte sich: die Erde beschreibe einen großen Kreis der Himmelssphäre, deren Mittelpunkt die Sonne einnimmt, so würde der auf der Erde stehende Beobachter die Sonne präcis denselben Sternen successiv entsprechen sehen, und ihre scheinbare Bewegung ihm folglich mit derselben identisch scheinen, als wäre die Erde unbeweglich im Mittelpunkt des Kreises und die Sonne bewege sich in ihrem Umkreis. So sei (Fig. 49) ABCD die Erdbahn und PQRS der Zo-

diak, wenn die Erde im T ist, so wird sie die Sonne auf dem entgegengesetzten Punkt A der Bahn sehen, sie wird mit ihr im Stern M des Zodiaks zusammentreffen; wenn die Erde in das T′ eintritt, wird ihr die Sonne im B vorkommen, und im Stern N des Zodiaks wird sie sie einholen, die Sonne wird ihr dann in dem Intervall den Bogen MN beschrieben zu haben scheinen, ganz wie es uns vorkommen müßte, wenn wir im Mittelpunkt der um die Erde kreisenden Sonne uns befänden. Unter diesem Verhältniß sind also die Erscheinungen in beiden Fällen dieselben; wenn die Erde wirklich die Ekliptik durch ihre jährliche Bewegung um die Sonne beschreibt, so muß dieses Gestirn, kraft der Illusion, welche uns die Bewegung der Erde auf die Sonne übertragen läßt, in derselben Richtung und in derselben Zwischenzeit dieselbe Curve zu beschreiben scheinen. Der wirkliche Standpunkt der Erde und der scheinbare Standpunkt der Sonne werden stets auf der Himmelssphäre an den äußersten Enden eines Durchmessers desselben größten Kreises sein.

Wir haben gesehen, daß die Pole in dem Zeitraum eines Jahres stets ziemlich denselben Punkten des Himmels entsprachen; wir dürfen also annehmen, daß in ihrer Bewegung um die Sonne die Erdaxe, und folglich die senkrecht von ihr befindliche Ebene des Aequators stets eine ziemlich parallele Richtung während der Dauer einer jeden Umwälzung haben werden. Ist dieser Fall angenommen, so sei (Fig. 50) APBP′ der Meridian, ABCD der Aequator, LCL′D die Ekliptik, T die Erde an einem beliebigen Punkte ihrer Bahn, Tp die Erdaxe, P der Nordpol; ziehen wir nun vom Mittelpunkte der Sonne zum Mittelpunkte der Erde den Radius Vector ST, so wird der Winkel pTS der, durch die Beobachtung gegebene, Abstand der Sonne vom Pole

sein, vorausgesetzt, die Erde bewege sich in der Ekliptik. Wenn wir aber im Gegentheil uns die Erde im S unbeweglich denken, und die Sonne im S′, so wird der Winkel PSS′ der scheinbare Abstand dieses Gestirns vom Pole im Moment seines Durchgangs durch den Meridian sein. Diese Winkel werden sich untereinander gleich sein, weil PS und pT parallel sind, die Stunde des Durchgangs und der Rektascension, sowie die Höhen der Meridiane und die Deklinationen werden immer noch in beiden Höhen dieselben sein.

Versetzen wir uns in den Mittelpunkt der Sonne im S, so wird die Länge des Radius Vector ST, unter welchem wir die Erde sehen, der Länge des Radius Vector TS′, unter dem von der Erde aus man jenen der Sonne um 180° vermehrt findet, gleich sein; was den Winkel PST betrifft, so wird dieser der Abstand der Erde vom Pole sein, und dieser Winkel supplirt den Winkel PSS′ oder pTS. Ist der erstere Winkel durch 90° — d repräsentirt, so wird der zweite Winkel es durch 90° + d sein, ihre Summe muß also immer gleich 180° sein, d stellt die Deklination der Sonne, von der Erde aus gesehen, vor, oder die Deklination der Erde von der Sonne aus gesehen; diese Deklinationen sind immer gleich, nur als Zeichen sich entgegengesetzt.

Sei also die Erde das Unbewegliche im Mittelpunkt der Himmelskörper, oder umgekehrt, die Sonne sei das Unbewegliche und werde von der Erde umkreist, gleichwie von den andern Planeten, so werden die Phänomene, welche uns die scheinbaren Bewegungen der Sonne, in Bezug zu den Sternen, darbieten, doch dieselben sein, und wir haben keine einzige Veränderung den Resultaten hinzuzufügen, welche wir der Beobachtung verdanken.

Weil die relative Position der Sonne und der Erde in beiden Fällen dieselbe ist, so können wir

schon schließen, daß die Phänomene, welche von den Verrückungen der Sonne in der Himmelssphäre die Folge sind, nicht die geringste Veränderung erfahren werden, für welche von beiden Hypothesen man sich auch entscheiden möge. Um uns aber noch genauer zu überzeugen, wollen wir der Erde auf einem ihrer jährlichen Umläufe folgen, und dann sehen, wie ihre Verrückungen in der Ekliptik die Jahres- und Tageszeiten bewirken.

Sei AMBN (Fig. 51) die Ekliptik, S die Sonne im Brennpunkt, wenn wir nämlich die Erde im T annehmen, pp′ die Axe der Pole, p der Nordpol und p′ der Südpol; ziehen wir jetzt den Radius Vector ST, so wird dieser Radius perpendikulär von der Ebene sein, welche die erleuchtete Halbkugel der Erde von der dunklen trennt. Der in den Punkt o, wo dieser Radius die Erde durchschneidet, sich stellende Beobachter wird die Sonne im Zenith haben, und durch die Wirkung der drehenden Bewegung der Erde um ihre Axe pp′, werden alle auf derselben Parallele befindlichen Punkte nach und nach die Sonne im Mittag vertikal über ihrem Haupte haben. Wenn die Erde vom T ins T′ vorschreitet, so daß der Radius Vector ST″ senkrecht von der Rotationsaxe pp′ wird, und der Einschnitt des Aequators und der Ekliptik sich stets gleich bleibt, so confundirt sich der Radius Vector ST″ mit dieser geraden Linie, die Sonne befindet sich dann in der verlängerten Linie des Erdäquators, und zufolge der täglichen Bewegung passiren alle unter dem Aequator befindlichen Punkte successive unter die Sonne, diese ist dann im Aequinoktium, und die Tage auf der ganzen Erde von gleicher Dauer. Geht die Erde in T″ über, so daß der Radius Vector ST′ senkrecht vom Einschnitt des Aequators und der Ekliptik ist, so wird der Winkel, welchen dieser Radius mit der Axe der Pole bildet, in sei-

nem Minimum sein; die Deklination der Sonne, welche das Complement davon, ist dann die möglichst größte, oder von 23° 28′, und alle Punkte des durch den Radius Vector ST′ auf der Oberfläche der Erde gezogenen Kreises sind jene, welche die Sonne in ihrem Scheitelpunkte sehen, sobald sie dem Pol am nächsten ist. Um diese Zeit haben wir das Sommersolstiz. Geht die Erde vom T″ ins T‴ über, so scheint der Radius Vector ST sich der Linie st zu nähern, welche stets sich selber parallel bleibt. Im Punkt T‴ befindet sich die Sonne abermals auf der verlängerten Linie des Erdäquators, und wir sind beim Herbstäquinoktium angelangt. Endlich, wenn die Erde ins T wieder zurückgekehrt ist, so wird die Ebene, welche durch den Radius Vector ST und durch die Axe der Pole geht, sich abermals senkrecht von der Ekliptik wenden; der Winkel dieser beiden geraden Linien mißt dann den kleinsten Abstand der Sonne vom Südpol, sie geht um Mittag in den Zenith jener Regionen über, welche auf dem um 23° 28′ vom Aequator gegen die südliche Seite des Himmels entfernten Parallelkreise gelegen sind; dann sind wir beim Wintersolstiz angelangt. Der von der Sonne zur Erde gezogene Radius Vector wird dann ihre Fläche in zwei verschiedene Hälften im Sommersolstiz und im Wintersolstiz sondern; die Gegenden, welche die Sonne am Mittag im Zenith sehen, werden zur erstern Epoche 23° 28′ nördlicher Breite haben, und zur zweiten 23° 28′ südlicher Breite. In den zwischen beiden Solstitien befindlichen Punkten sieht man, daß der Radius Vector ST nach und nach in Beziehung zur Polaraxe alle zwischen 90° — 23° 28′ und 90° + 23° 28′ befindlichen Grade der Neigung annimmt. Dann ist der Winkel STP der Abstand des Pols von der Sonne, von der Erde aus gesehen; die Deklination, welche das Complement dieses Win-

kels ist, wird dann von Null bis 23° 28′ mehr oder weniger variiren, und die Sonne wird folglich um Mittag in den verschiedenen Orten der Erde während ihrer jährlichen Umwälzung zu derselben Höhe am Horizont sich erheben, man mag sich nun die Erde als ruhend, oder in ihrer Bewegung um die Sonne denken, wie die jüngere Hypothese voraussetzt. Die Jahreszeiten werden sich in derselben Ordnung folgen, ihre Dauer, sowie jene der Tage wird in beiden Fällen von gleicher Länge sein, und unsere im vierten Kapitel von ihren Ungleichheiten gegebenen Erklärungen werden sich sehr gut auf beide Hypothesen anwenden lassen.

Wenn wir, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung zu erklären, die Bewegung der Erde um ihre Axe gelten lassen, so haben wir das größte Hinderniß gehoben, welches der Hypothese von der Bewegung der Erde um die Sonne entgegen trat, als wir die Erscheinungen der jährlichen Bewegung erklären wollten. Nach dem, was wir über die tägliche Bewegung gesagt, wird eine einfache Prüfung der beiden Hypothesen sowohl jener, welche die Sonne in einem um 23° 28′ zum Aequator geneigten Kreise sich um die Erde bewegen läßt, als auch der andern, welche die Erde dieselbe Bewegung um die unbewegliche Sonne machen läßt, genügen, um unsere Zweifel zu fixiren. In beiden Fällen sind, wie man sieht, die Phänomene genau dieselben, der einzige Unterschied besteht nur darin, daß in der einen Hypothese die Sonne den Ort einnimmt, wo wir sie am Himmel erblicken, in der andern Hypothese hingegen ist es die Erde, welche sich so placirt, daß man sie an jenem Orte des Himmels bemerken muß, wo die Sonne uns erschien; hier muß die Wahl sich für jene Hypothese entscheiden, welche uns die Vernunft und die Wahrscheinlichkeit als die glaubwürdigere empfehlen. Auf den ersten Augenblick fan=

den wir das Volumen der Sonne vor jenem der Erde so sehr überwiegend, daß diese neben jener wie ein Atom sich ausnahm. Wäre es also klug, von zwei Körpern so ungleichen Umfangs, den kleinern zum Mittelpunkt der Bewegungen des größern Körpers zu bestimmen? Außerdem ist eben so schwer zu begreifen als wenn es sich von der täglichen Bewegung handelt, wo denn der Brennpunkt der unermeßlichen Kraft sein sollte, welche erforderlich ist, um eine so große, und von einer so ungemeinen Schnelligkeit getriebene Masse in ihrer Bahn zu erhalten? Hingegen im entgegengesetzten System verschwindet diese Schwierigkeit sogleich.

Die Analogie, jene sicherste Führerin bei dem Studium der Natur, welche so oft uns die bewundernswürdige Einfachheit der Mittel zeigt, die sie zur Erreichung ihrer Zwecke anzuwenden pflegt, die Analogie kömmt auch unserer Hypothese zu Hülfe. Wir werden weiter unten auch wirklich sehen, daß man die beobachteten Bewegungen der zwischen der Sonne und der Erde befindlichen Planeten nicht anders zu erklären vermag, als wenn man eine transferirende Bewegung derselben um die Sonne voraussetzt, welche das ganze Planetensystem mit sich um die Erde tragen müßte. Ein Beobachter auf dem Planeten Venus würde demnach die Sonne den Zodiak in einem viel kürzern Zeitraum als in dem eines Jahres beschreiben sehen, und würde glauben, die Erde sammt den übrigen Planeten drehe sich um ihn, obschon wir sehr gut wissen, daß diese Bewegung nur eine scheinbare ist, und daß der Beobachter selber und der Planet, auf welchem er steht, sich um die Sonne bewegen. Ist es folglich nicht ganz natürlich, zu glauben, daß dieselbe Illusion, welche den Beobachter über seine wirkliche Bewegung täuscht, auch uns verblende, und daß die Bewegung der Sonne und der Pla-

neten um uns gleichfalls nur scheinbar stattfinde?

65. Wir haben gesehen, daß die Weltaxe, um welche die tägliche Umwälzung der Himmelssphäre vorgeht, immer denselben Punkten des Himmels zu entsprechen schien. Wenn demungeachtet der Mittelpunkt der Erde in seiner transferirenden Bewegung eine immense Ellipse durchläuft, deren Axe 33 Millionen Meilen überschreitet, so werden die Pole des Aequators auf der Himmelsfläche eine ähnliche Curve ziehen, und wenn die Erde vom Perigeum ins Apogeum übergehen soll, so müßten die Pole zwei verschiedenen, 66 Millionen Meilen von einander entfernten Sternen entsprechen. Wenn wir nun keine merkliche Veränderung in der Richtung der Erdaxe bemerken, muß man nicht daraus schließen, daß die Dimensionen der Ekliptik selbst, wie jene unserer Erde, in Anbetracht der Weite, die uns von den Sternen trennt, nur sehr kleine Größen sind? So hätten wir denn einen neuen Beweis ihrer unermeßlichen Entfernung erhalten.

Um die Distanzen der Sterne zu messen, hatten wir oben die größte erdenkliche Basis auf der Oberfläche der Erde gewählt. Ihre jährliche Bewegung verschafft uns eine 23000mal größere Ausdehnung im Durchmesser der Ekliptik. Sei nun (Fig. 52) S die Sonne, TET′ die Erdbahn oder die Ekliptik, und nehmen wir an, daß von zwei sich diametral entgegengesetzten Punkten dieser Curve man einen beliebigen Stern A bemerken würde, so wird, wenn Tp die Richtung der Erdaxe ist, der Winkel pTA die Distanz des Sterns vom Pol sein, wenn die Erde im T ist, und p′T′A das, was dieser Winkel sechs Monate später wird, wenn die Erde ins T′ eintritt. Die Differenz dieser beiden Winkel ist gleich TAT′; damit nun der Winkel ATp gleich sei dem Winkel AT′p′, muß die Distanz TT′ oder der Bogen pp′ in

Bezug zu dem Radius AS der Himmelssphäre eine unendlich kleine Größe sein. In der That müssen sich in dieser Hypothese die Punkte T und T′ mit dem Punkt S, welcher ihr mittlerer Ort sein wird, vermischen, und die Position des Sterns A wird in Bezug zur Erde beinahe dieselbe sein, als wenn man sie vom Mittelpunkt S der Sonne aus beobachtet hätte.

Der Winkel TAS ist das, was man die jährliche Parallaxe des Sterns A oder die Parallaxe der großen Bahn nennt, das ist der Winkel, unter welchem ein im Mittelpunkte stehender Beobachter den Radius der Ekliptik sehen würde. Die genauesten Beobachtungen haben gezeigt, daß diese Parallaxe unmerklich sei, und daß sie sich nicht einmal zu 1″ für Sterne erster Größe erheben würde, d. h. für jene, welche aller Wahrscheinlichkeit nach, uns die nächsten sind. Dieses Resultat berechtigt uns, die Grenze, welche wir zuerst der Sternweite angewiesen, weiter hinauszustecken. Wirklich sind auch im Dreieck SAT die Sinus der Winkel den entgegengesetzten Seiten proportionirt. Man wird folglich haben: sin. A : sin. S :: ST : AT. Indem wir nun A aus 1″ machen und das rechtwinklige Dreieck im T annehmen, erhalten wir sin. S = cosin. A; diese Proportion zeigt, daß ST gegen 206265mal in AT enthalten ist, d. h. daß die Distanz der Erde von den allernächsten Sternen gegen 206265mal größer ist, als die Distanz der Erde von der Sonne. Wir haben gesehen, daß die halbe Axe der Erdbahn gegen 24096 Halbmesser der Erde beträgt, demnach muß die Distanz der Sterne von der Erde 4970156800 Erdhalbmesser betragen; und weil die jährliche Parallaxe sich gewiß nicht zu 1″ erhebt, so sind die Sterne noch über diese Grenze weit hinaus situirt.

So erweitern sich also mit jedem neuen Schritte, den wir auf dem Felde der Astronomie vorwärts

thun, die Grenzen des Weltalls. Wir werden aber in der Folge zu bemerken Gelegenheit erhalten, wie die Beobachtung der Phänomene des Lichts die muthmaßliche Entfernung der Sterne sogar über alle erdenklichen Grenzen hinaus anzunehmen gestattet.

66. Bisher hatten wir angenommen, daß die Erdaxe in ihrer jährlichen Bewegung, sich immer parallel bliebe; betrachtet man nun die Dimensionen der Erdbahn wie einen materiellen Punkt in Bezug zur Distanz der Sterne, so würde daraus folgen, daß ihre Position in Bezug zum Aequator unveränderlich bliebe, während im Gegentheil sie einer sehr merkbaren Bewegung in der Deklination und in der Rektascension unterworfen sind. Allein als vom Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen die Rede war, hatten wir gesehen, wie man dieses durch die Hypothese von einer sehr langsamen Bewegung der Erdaxe um die Pole der Ekliptik erklären könne; ebenso gut als wenn man eine allgemeine Bewegung der gestirnten Sphäre um dieselben Punkte annehmen würde. Dann werden dieselben Gründe, welche uns bewogen, der jüngern Hypothese von der Bewegung der Erde vor jener ältern, welche die Erde für unbeweglich hielt, den Vorzug zu geben, uns jetzt auch zwingen, die Hypothese von der Bewegung der Erdaxe als die einfachste und wahrscheinlichste zu adoptiren. Wäre die Erdaxe unbeweglich, so müßte man voraussetzen, daß alle Sterne an der Himmelssphäre befestigt wären, und in ihrer hundertjährigen Bewegung von ihr mitgezogen werden, indeß eine leichte Verrückung der Erdaxe sowohl das allgemeine Phänomen des Vorrückens der Sterne als auch die verschiedenartigen Bewegungen, die daraus für jeden Stern insbesondere, zufolge ihrer Distanz vom Pole, resul-ren, zu erklären vermag.

67. Durch eine Reihe von Schlüssen sind wir also zur Gewißheit gelangt, daß unsere Erde eine dreifache Bewegung habe: 1) eine drehende Bewegung in umgekehrter Richtung der scheinbaren Bewegung der Himmelssphäre, wodurch sich die tägliche Umwälzung des ganzen Sternhimmels erklärt; 2) eine transferirende Bewegung um die unbewegliche Sonne, wodurch sich die Erscheinungen der jährlichen Bewegung erklären; 3) eine sehr langsame Bewegung der Pole vom Aequator um die Axe der Ekliptik, wodurch sich die Präcession der Nachtgleiche und das Schwanken der Erdaxe erklären. Diese Idee einer dreifachen Bewegung mußte wohl durch ihre Neuheit in Erstaunen setzen, und durch ihre scheinbare Complikation die ersten Geister, welche sie entdeckten, sogar erschrecken, aber seitdem die Beobachtung auch an den andern Planeten ähnliche Bewegungen erkannte, hat sie nichts Ueberraschendes mehr. Wir werden also eine Hypothese adoptiren dürfen, die mit allen beobachteten Erscheinungen übereinstimmt, und einen neuen Grad von Gewißheit erlangen muß, je weiter wir in dem Studium der himmlischen Erscheinungen vordringen werden. Wir werden folglich als ein Fundamentalgesetz des Weltsystems gelten lassen dürfen: daß die Erde in der Ekliptik von Ost nach West sich drehe, indem sie eine Ellipse beschreibt, von deren Brennpunkten einen die Sonne einnimmt, indeß die Erde in 24 Stunden sich um ihre Axe dreht, welche während der Dauer eines jährlichen Umlaufs sich selber parallel bleibt, aber in 25,811 Jahren um die Pole der Ekliptik einen vollkommenen Umkreis beschreibt, demnach in der Länge ihre Richtung ändert.

Diese Regel, welche auf die einfachste Weise alle Erscheinungen am Himmel erklärt, indem sie die besondere Bewegung der Erde der allgemeinen Bewegung der Sphäre unterordnet, und welche angeb-

lich Kopernik zuerst aufgestellt haben soll, ist schon von den Alten geahnt worden. Pythagoras hat diese Wahrheit seinen Schülern vorgetragen, und von Archimedes war sie in einem seiner Werke adoptirt worden. Kopernik's System besteht also nur darin, dieser alten Lehre durch neue Beweise neue Stützen verschafft zu haben. Und welche Schwierigkeiten thürmten sich nicht demungeachtet ihr entgegen, bevor sie sich allgemeine Geltung verschaffen konnte? Galilei mußte für sein Zeugniß dieser Wahrheit in dem Kerker der Inquisition büßen. Daran trägt die Eitelkeit des Menschen allein die Schuld, welche sich so gern als den Mittelpunkt der Schöpfung betrachtet, und es daher der Wissenschaft übel nahm, als sie ihn aufmerksam machte, wie der Planet, den er bewohnt, nicht die Welt selbst, sondern nur ein Sandkörnchen im Verhältniß zur Sonne und andern noch größern Himmelskörpern ist. Wenn wir demungeachtet gegen die neugewonnene bessere Ueberzeugung auch ferner noch vom Aufgang und Untergang der Sonne, von ihrer jährlichen Bewegung in der Ekliptik u. s. w. sprechen werden, so sieht der Leser wohl selbst ein, daß wir nur die gewohnte Ausdrucksweise beibehalten, ohne sie jedoch im buchstäblichen Sinne zu verstehen.

Consequenzen, welche aus der Bewegung der Erde hervorgehen.

68. Wir werden jetzt die Bewegung der Erde, uns auf die genaue Abschätzung der Phänomene stützend, außer allen Zweifel stellen, eine Aufgabe, welche für die Astronomie schon durch die Einfachheit wichtig ist, die sie in die Bewegungen aller Himmelskörper einführt, noch mehr aber, weil sie Phänomene erklärt, die sonst unbegreiflich blieben. Die jährliche Bewegung der Erde gewährte, wie wir gesehen

den Astronomen zur Messung der Distanzen der Himmelskörper eine weit ausgedehntere Grundlage als ihnen möglich gewesen wäre, wenn sie ihre Resultate auf der Oberfläche der Erde sich hätten verschaffen wollen.

Wenn die Entfernung der Sterne diesen Vortheil zur Messung ihrer Parallaxen illusorisch macht, so wird uns doch wenigstens die Idee von ihrer unermeßlichen Weite aufs Neue begründet. Die Sonne ist zu weit von uns entfernt, als daß sich ihre Parallaxe bestimmen ließe, aber man kann sich jenes Mittels doch bei der Messung der Parallaxe des Mondes, den nächsten Planeten und Kometen bedienen. Wir werden anderswo sehen, daß, wenn die Parallaxe eines Planeten genau gekannt ist, man durch eine einfache Rechnung im Stande ist, die Parallaxe der Sonne und der andern Planeten daraus herzuleiten. Man darf also wohl behaupten, daß die Entdeckung der jährlichen Bewegung der Erde in der Ekliptik, obschon indirekt, was die Sonne und die entferntern Planeten anbetrifft, zur Messung der Sternweiten verholfen hat.

69. In den Erscheinungen, welche der Fall schwerer Körper auf die Oberfläche der Erde darbietet, hat man eine Widerlegung der Hypothese von der drehenden Bewegung der Erde erkennen wollen. Wenn die Erde sagt man, in 24 Stunden sich um ihren Mitelpunkt von West nach Ost dreht, so müßte ein von einem hohen Thurme fallender Stein mehre Toisen weit vom Fuße des Gebäudes niederfallen, wenn der Beobachter nach West gewendet ist; und muß sich der Oberfläche nähern, und sogar anprallen, bevor er noch den Boden erreicht, wenn der Beobachter gegen Ost gekehrt ist. Man antwortet auf dieses Argument sehr leicht mit dem Beispiel, welches ein segelndes Schiff darbietet, dessen Bewegung also gewiß nicht geläugnet werden kann. Läßt man

auf demselben von der Höhe des Mastes einen Stein fallen, so ist sein Abstand vom Mast, wenn er den Boden erreicht nicht verschieden, wie im Moment seines Wurfes, obschon allem Anschein nach die Entfernung während der Zeit, wo das Schiff weiter segelte, zunehmen müßte. Dies kommt aber daher, weil der Stein während des Fallens an der Bewegung des Schiffes participirt, er wird also von zwei Kräften getrieben, die eine ist die Schwerkraft, die gegen die Scheitellinie AB (Fig. 53) gerichtet ist, die andere aber hat die horizontate Richtung, folgend dem Bc, und in derselben Richtung wie das Schiff steuert, also muß nach dem Gesetze der Composition der Kräfte der Stein die Richtung der Diagonallinie des Parallelogramms ABCD einschlagen, die auf den beiden Linien, welche diese Kräfte repräsentiren, errichtet ist, und wird also der Stein ins B am Fuße des Mastes niederfallen, als ob das Schiff still gestanden hätte. Was sich aber von jenem Steine, der von dem Mast eines Schiffes herabgeschleudert wurde, sagen ließ, leidet auch auf jeden Körper seine Anwendung, der von dem Gipfel eines Thurmes auf die Erde fällt. Dennoch, wäre der Thurm hoch genug, daß der Radius, welcher vom Mittelpunkt der Erde zu seiner Spitze führt, vom Erdhalbmesser merklich differiren würde, so müßte die Geschwindigkeit, mit welcher der von der Höhe des Thurms parallel mit der Bewegung der Erde geschleuderte Stein begabt wäre, jene der auf ihrer Oberfläche befindlichen Gegenstände übertreffen, weil die Geschwindigkeiten der in verschiedenen Distanzen der Drehungsaxe situirten Körper unter sich nothwendig den Umfängen der Kreise gleich sein müssen, welche diese Körper zu durchlaufen haben. Wenn der Beobachter im Osten des Thurms steht, so muß der Stein sich vom Fuß des Gebäudes entfernen, anstatt sich ihm zu nähern, wie man anfänglich durch

eine falsche Abschätzung des Phänomens glaubte. Man begreift wohl, daß die Beobachtungen, welche ein ähnliches Resultat constatiren sollen, etwas schwierig auszuführen sind; und zwar wegen der kleinen Dimensionen, die wir mit jenen der Erde vergleichen können. Demungeachtet hat man sich öfter daran versucht, und jedesmal zeigte die Erfahrung eine Abweichung östlich von der Scheitellinie; nur in der Quantität der Entfernungen wichen die verschiedenen Beobachter von einander ab. Ebenso ist der Einwurf, den man gegen die tägliche Bewegung der Erde vorbrachte, indem man sich auf ein Phänomen berief, dessen Echtheit nicht gehörig untersucht worden war, ein Argument zu Gunsten dieser Bewegung geworden, nachdem die Phänomene besser gekannt waren.

70. Centrifugalkraft nannten wir oben das natürliche Streben, welches jeder schwere Körper in der kreisförmigen Bewegung offenbart, um sich von der Drehungsaxe zu entfernen. Wir haben auch oben gesehen, wie diese Kraft in Verbindung mit der Adhäsion aller Molekulen der Erde, in der Voraussetzung, daß sie ursprünglich flüssig gewesen, durch jene Kraft an ihren Polen eine Abplattung erlitt. Durch die drehende Bewegung der Erde müssen alle Körper den Einfluß jener Kraft erfahren, und würden sie nicht durch ihre Schwerkraft zurückgehalten, so würden sie fortwährend sich von der Oberfläche der Erde zu entfernen streben. Allein die Centrifugalkraft wächst mit der Geschwindigkeit, sie muß also unter den verschiedenen Parallelkreisen variiren, an den unbeweglichen Polen ist sie Null, in den Gegenden des Aequators ist sie in ihrem Maximum. Wie nun übrigens ihre Richtung stets perpendikulär von der Drehungsaxe sein muß, so variirt der Winkel, welchen sie mit der Vertikallinie bildet, gleichmäßig mit dem Aequator an den Polen,

was, je näher man diesen letztern Punkten kömmt, noch mehr ihre Wirkung zu schwächen beiträgt. In der That ist die Wirkung der Schwere stets in einer solchen Richtung, daß sie der Vertikallinie folgt, und die Körper dem Mittelpunkte der Erde näher zu bringen strebt. Am Aequator ist die Centrifugalkraft der Schwere direkt entgegengesetzt; je weiter man sich vom Aequator entfernt, desto mehr vermindert sich die Centrifugalkraft, und ihre Richtung wird immer schiefer von der Vertikallinie; um die Wirkung der Schwere zu paralisiren, muß ihre Wirkung mehr und mehr durch diese beiden Ursachen geschwächt werden, bis sie an den Polen endlich ganz aufhört. Ebenso muß, wenn die Erde sich wirklich um ihre Axe dreht, die abwechselnde Schwere der Körper an der Erdoberfläche eine natürliche Folge davon sein. Und wir haben ein einfaches Mittel, um diesen Satz zu bewahrheiten, weil derselbe Körper, wenn er vom Aequator an die Pole versetzt ist, an Schwere zunimmt. Man begreift wohl, daß um diese Zunahme der Schwere zu messen, eine gewöhnliche Wage nicht genügen würde, weil die Schwere auf die in beiden Wageschalen gelegten Körper auf dieselbe Weise wirken würde, also müßten auch ihre Gewichte stets untereinander in gleichen Beziehungen stehen. Aber die Anwendung der Pendeluhren gibt uns ein Mittel an die Hand, auch die kleinsten Variationen in der Intensität der Schwere präcis bestimmen zu können. Wirklich wird auch, je mehr ein Körper an Schwere zunimmt, desto mehr auch sein Fall sich beschleunigen. Die Oscillationen des Pendels müssen also an Schnelligkeit zunehmen, je schwerer die Gewichte sind. Nach ihrer Zahl wird man also in einer gegebenen Zeit die Variationen berechnen können, welche die Schwere eingegangen ist. Als man denselben Pendel an verschiedene Orte der Erde versetzt hatte, verschaffte man

sich also die Ueberzeugung, daß die Dauer der Oscillationen sich zusehends vermindere, je mehr man sich vom Aequator entfernt, oder was dasselbe ist, man mußte den Pendel fortwährend verlängern, damit er stets dieselbe Sekundenzahl in einem Tage angäbe, denn man weiß (s. Art. 20.) daß die Oscillationen eines Pendels um so langsamer sind, je länger sein Stab ist. * Richer, welcher 1672 von der Akademie der Wissenschaften nach Cayenne geschickt wurde, um dort einige astronomische Beobachtungen zu wiederholen, machte zuerst diese Bemerkung, indem es ihn befremdete, daß seine vor der Abreise aufgezogene Uhr unter der Breite von Cayenne merklich langsamer ging. Daraus schloß er, daß die Intensität der Schwere in der Nähe des Aequators geringer wäre als zu Paris.

Diese öfter wiederholte Erfahrung zeigte stets, daß die Schwere von dem Aequator zu den Polen zunimmt, und die größte Schätzung am Pole übersteigt die kleinste unter dem Aequator.** Daraus folgt, daß derselbe Körper am Aequator ungefähr $1/_{200}$ weniger wiegt als am Pol, so daß, wenn man sich eine Wage vorstellt, deren Wagbalken dem Halbmesser der Erde gleich ist, das Volumen des an den Aequator versetzten Körpers um $1/_{200}$ größer als jenes dem am Pole befindlichen Körpers sein müßte, wenn zwei homogene Körper, die in diesen zwei Breiten situirt sind, das Gleichgewicht erhal-

* Die Dauer der Oscillationen zweier Pendel von verschiedener Länge sind wie die Quadratwurzeln dieser Längen, vorausgesetzt, daß ihre Schwere dieselbe sei. Ist aber die Länge der Pendel gleich und die Schwere verschieden, so ist die Dauer der Oscillationen im umgekehrten Verhältniß der Quadratwurzeln ihrer Schwere. (S. das 1. Kap. der 2. Abthl.)

** Für die Variationen der Schwere gibt es zwei Ursachen, die Wirkung der Centrifugalkraft, welche sich der Wirkung der Schwere entgegensetzt und mit der Breite wechselt; sodann der Umstand, daß die Erde kein vollkommenes Sphäroid ist, daher nicht an allen Orten die Wirkung auf die Körper an ihrer Oberfläche gleich sein kann.

ten sollten. Die Länge des Sekundenpendels, d. h. eines Pendels, welcher an einem mittlern Sonnentage 86400″ schlägt, in der Eisregion und über dem Niveau des Meers auf das Leere reduzirt, ist in Paris, d. h. unter einer Breite von 48° 50′ 14″, nach den letzten Beobachtungen Borda's gegen 440,569 L. oder 0,993849 Met.; die Länge desselben Pendels unter ähnlichen Bedingungen würde am Aequator gegen 439,111 L. oder 0,990560 Met. betragen, d. h. er würde wenigstens eine Linie mehr als in Paris haben, wie es auch Richer i. J. 1672 in Cayenne gefunden hat. Diese Phänomene, welche man der Beobachtung verdankt, können als neue Beweise für die drehende Bewegung der Erde gelten.

71. Als wir von den Sternen gehandelt hatten, sagten wir, daß sie einer scheinbaren Bewegung, die Abweichung oder Abirrung genannt, unterworfen seien, deren Ursachen wir uns später zu erklären vorbehielten. Entscheidet man sich für die Hypothese von der transferirenden Bewegung der Erde um die Sonne, so ist diese Erklärung leicht, unmöglich aber wird sie, wenn man der antiquirten Meinung von der Unbeweglichkeit der Erde treu bleiben wollte. Die Vorstellung, welche wir von einem Gegenstande erhalten, scheint in der That von dem Stoß der Lichtkügelchen hervorgebracht zu sein, welche aus denselben auf die Gesichtsorgane ausgehen, und wir übertragen das Objekt wieder auf die verlängerte Gesichtslinie, welcher diese Kügelchen folgend, unser Auge berühren. Die Geschwindigkeit des Lichts ist nicht, wie man früher glaubte, unbegrenzt. Der Astronom Römer hat gezeigt, daß sein Durchgehen wie jenes des Schalls successiv sei, obschon sich das Licht schneller fortpflanzt. So sehen wir einen entfernten Stern nicht an dem Orte, den er im Momente seines Erblicktwerdens einnimmt, sondern in der Position, wo er sich zu der Zeit be-

fand, als er sein Licht aussandte, das aber bis zu uns eine so weite Strecke durch den Weltraum zurückzulegen hat, daß der Stern seitdem bedeutend weiter fortgerückt ist. Diesem gemäß nehmen wir an (Fig. 54), ein Stern sei im E, und der Beobachter bewege sich von A ins B, der Linie AB folgend, welche wir als einen sehr kleinen Bogen der Erdbahn betrachten wollen. Wäre die Erde unbeweglich, so würde der Beobachter im A den Stern auf dem Radius AE sehen, und ihn stets zum Punkt E in Rapport bringen, wie groß übrigens auch die Geschwindigkeit des Lichts sein möge, er wüßte doch nur, daß es die Stelle einnehme, wohin er kurz vor dem Moment der Beobachtung seinen Blick gerichtet hat, der Zwischenstrecke folgend, welche das Licht von dem Stern bis zum Beobachter zu durchlaufen hat. Wenn aber die Erde ihre Position ändert, und die Geschwindigkeit des Lichtes jener der transferirenden Bewegung vergleichbar ist, wird man nicht nur auf den successiven Durchgang des Lichtes Acht haben müssen, um den wirklichen Zeitpunkt zu vermuthen, wo der Stern den Platz einnahm, wo wir ihn bemerkten, sondern selbst die Richtung des aus ihm emanirenden Lichtstrahls wird eine Abweichung erlitten haben, so daß man von dieses Abbiegung sich wird Rechenschaft geben müssen, wenn man die wirkliche Position des Sterns im Moment der Emanation wissen wollte. Nehmen wir also an, daß vermöge der Bewegung der Erde der Beobachter von A in B eintrete, während das Licht des Sterns die Distanz CB beschreibt; so bringt das Lichtkügelchen, welches das Auge des Beobachters in der Richtung AB fortstieß, auf das Gesichtsorgan dieselbe Wirkung hervor, als wäre es mit einer gleichen Geschwindigkeit und in entgegengesetzter Richtung FBA auf das Auge gerückt worden. Das Kügelchen berührt also das Auge des Beobachters,

als wäre es gleichzeitig in der Richtung EB und in der Richtung FB fortgeschoben. Es muß also, nach dem Gesetze des Gleichgewichts das Auge anstoßen, als ob es der Richtung BD des auf den beiden Linien BF und BC construirten Parallelogramms BCDF folgte. Der im B angelangte Beobachter wird also den Stern auf der verlängerten Gesichtslinie BD sehen, d. h. er wird den Stern auf den Punkt D übertragen wie er ihn gesehen haben würde, wäre die Erde unbeweglich. Der Stern hätte eine Bewegung EE′ parallel der Richtung jener Bewegung der Erde in der Ekliptik. Diese Abbiegung der Lichtstrahlen, welche uns die Sterne an einem ganz andern Orte sehen läßt, als den sie wirklich zur Zeit des Gesehenwerdens einnehmen, und welches nur eine Folge der Bewegung der Erde in Verbindung mit der successiven Uebertragung des Lichtes ist, bildet das Phänomen der **Aberration** oder Abirrung des Lichts.

Der Winkel CBD mißt die Distanz der beobachteten Position des Sterns mit seiner wirklichen Position. Um ihn im Dreieck CBD zu bestimmen, hat man die Proportion:

sin. B : sin. D :: CD : BC :: Geschw. d. Erde : Geschw. d. Lichts.

Der Winkel CBD oder die Ausdehnung der Aberration hängt also vom Verhältniß der Geschwindigkeit der Erde zu jener des Lichtes ab, und variirt mit der Richtung des Lichtstrahls in Beziehung zur Erdbahn. Der Winkel CBD ist in seinem Maximum, wenn der Winkel BCD gerade ist, d. h. wenn der Lichtstrahl senkrecht von der Richtung ist, in welcher die Erde sich bewegt. Man hat alsdann $D = 90° - B$, $\sin. D = \cos. B$ und die vorhergehende Proportion gibt die Tangente $B = \frac{\text{Geschw. d. Erde}}{\text{Geschw. d. Lichts}}$.

Nach den zuverlässigsten Beobachtungen braucht das

Licht der Sonne in deren mittelerem Abstand von der Erde 8′ 13″ um zu uns zu gelangen. Das ist folglich die Frist, welche es braucht, um den mittlern Halbmesser der Ekliptik zu durchlaufen. In dieser Zwischenzeit beschreibt die Erde einen Bogen von 20″,25, nach Verhältniß von 360° in einem siderischen Jahre von 365,25637 T. Dieser Bogen in einen Theil des Halbmessers verwandelt, ist gleich $^1/_{10186}$, die Geschwindigkeit des Lichts ist also 10186mal schneller als jene der Erde. Nimmt man nun BD als gleich dem mittlern Halbmesser der Ekliptik, so wird BF oder das ihm gleiche CD merklich gleich sein 20″,25; dieser Bogen wird das Maas des Winkels CBD sein, also durch die Wirkung der Aberration befinden sich alle Sterne, welche wir beobachten, weit über ihren wirklichen Ort hinausgerückt, parallel der Richtung, welche die Bewegung der Erde einnimmt, ohne deßhalb von hier über 20″,25 sich entfernen zu können.

Die Erde verändert fortwährend die Position in ihrer Bahn. Wir haben aber gesehen, daß die Distanz der Sterne zu weit ist, als daß sich annehmen ließe, die Richtung der Lichtstrahlen, welche sie uns zuschickt, bleibe während ihrer jährlichen Umlaufszeit immer ihr selbst parallel. Man kann außerdem von der Excentricität der Erdbahn hier abstrahiren und die Bewegung als gleichförmig betrachten. Da das Verhältniß zwischen der Geschwindigkeit des Lichts und der Geschwindigkeit der Erde sich nicht ändert, so würde der Winkel, welchen die Richtung des scheinbaren Strahls mit dem wirklichen Strahl bildet, stets derselbe sein, wenn der letztere Strahl stets auf der Ekliptik dieselbe Neigung behalten würde. Aber der Winkel CBD (Fig. 54) wechselt zufolge der Breite des Sterns, und zufolge dem Orte der Erde auf ihrer Bahn. Die A b e r r a t i o n variirt demnach nicht nur von einem Stern zum andern, sie differirt sogar für denselben Stern an jedem

Tage des Jahrs. Wir sehen also diese Sterne niemals weder auf ihrem wirklichen Standpunkt, noch zwei Tage hinter einander an demselben Ort, und die Reihe von Punkten, zu welchen wir sie in Rapport setzen, bildet Curven am Himmel, welche zu bestimmen hier der Ort ist.

Betrachten wir zuerst einen Stern in E (Fig. 55) am Pol der Ekliptik; ABCD sei die Erdbahn, die wir uns kreisförmig denken, weil wir hier von ihrer Excentricität abstrahiren müssen; so wird das aus dem Stern E ausstrahlende Licht uns stets in einer parallelen Richtung von ES begegnen, aber durch die Wirkung der Aberration uns stets der Stern von seiner wirklichen Position weit hinaus getragen erscheinen in einer senkrechten Fläche von der Ekliptik und in seiner Richtung der Tangente von der Erdbahn folgend. Also wird, wenn die Erde sich im Punkt a, b, c, d, 2c., befinden wird, der Stern successiv im e, e′, e″, e‴ 2c. erscheinen; da die Linie SE senkrecht vor der Ekliptik ist, so wird die Richtung des Lichtstrahls mit jener der Bewegung der Erde auf allen Punkten der Bahn einen geraden Winkel bilden; der Winkel der Abbiegung iah oder die Aberration wird immer dieselbe sein, und gleich 20″,25; aber dieser Winkel wird je nach den relativen Richtungen der Bewegung der Erde und der Bewegung des Lichts auch in verschiedenen Richtungen geschätzt sein. Indem wir nun der Erde während ihrer Umlaufszeit folgen, ist es leicht, sich zu überzeugen, daß die Erscheinungen, welche der Stern E uns darbietet, identisch dieselben sind, als wenn der Stern um das E auf der Himmelssphäre, in der Zeit eines Jahrs und in derselben Richtung, welche die Bewegung der Erde nimmt, einen kleinen Kreis beschreiben würde, parallel von der Ekliptik und von einem Radius gleich 20″,25, aber der Erde stets um 90° auf dieser fingirten Bahn vorauseilend. Indem nun abcd (Fig. 56) diese Bahn

vorstellt, wird, wenn die Erde im A sein wird, der Stern im b erscheinen; wenn die Erde im B sein wird, der Stern im c erscheinen u. s. f. Wenn die Breite des Sterns zwischen 90° und 0° enthalten, der Lichtstrahl SE gegen die Ebene der Ekliptik geneigt ist, verwandelt sich dieser Kreis in eine Ellipse wegen der Schiefe der Ebene, auf welche wir ihn projektiren. Die große Axe der Ellipse, die in einer Ebene parallel von der Ekliptik sich befindet, ist immer gleich 20″,25, und die kleinere Axe derselben Größe gleich, wenn sie mit dem Sinus der Neigung des Lichtstrahls gegen die Ekliptik oder mit dem Sinus der Breite des Sterns multiplizirt ist. Nennen wir also diese Breite λ, so werden die beiden Axen der kleinern Ellipse sein 20″,25 und 20″,25 sin. λ. Befindet sich der Stern am Pol der Ekliptik, so wird man haben $\lambda = 90^\circ$ und sin. $\lambda = 1$; die beiden Axen sind also gleich 20″,25 und die kleinere Ellipse verwandelt sich, wie wir gesehen haben, in einen Kreis. Die kleinere Axe nimmt also verhältnißmäßig ab, je näher der Stern der Ekliptik kommt. Ist der Stern in dieser Ebene, so hat man $\lambda = 0$ und sin. $\lambda = 0$, die kleine Ellipse reduzirt sich alsdann auf eine gerade Linie, und der Stern scheint nur noch nach einer und der andern Seite von seiner mittlern Position zu oscilliren, indem er einen Bogen beschreibt, dessen ganze Ausdehnung 40½″ beträgt.

Folgt man der Bewegung der Sterne auf diesen fingirten Ellipsen, so gelangt man leicht zur Auffindung der Formeln, welche ihre Aberration in Rektascensionen und in Deklinationen bestimmen, und welche ihre scheinbare Position berichtigen helfen, um ihren wirklichen Ort zu erfahren.

Vergleicht man diese Formel mit den scheinbaren Bewegungen der Sterne, so überzeugt man sich,

daß ihre Resultate nicht nur in ihrem allgemeinen Gange concurriren, sondern daß sie auch darin zusammenstimmen für den vornehmsten Coefficienten der Aberration dieselbe Größe 20″,25 zu geben. Ueber die Zuverlässigkeit dieser Theorie kann also kein Zweifel mehr obwalten, und die scheinbaren Bewegungen der Gestirne, welche man Aberration genannt hat, tragen dazu bei, zwei in der physischen Astronomie höchst wichtige Erscheinungen zugleich zu beweisen, nämlich die jährliche Bewegung der Erde und die successive Durchlassung der Lichtstrahlen.

Bisher war nur von der Bewegung der Erde um die Sonne die Rede gewesen, aber auch die Bewegung der Erde um ihren eigenen Mittelpunkt muß gleicherweise eine Abbiegung in der Richtung des Sternenlichtes hervorbringen. Es handelt sich bloß darum, zu erfahren, ob diese Abbiegung auch eine merkliche sei. Deßhalb laßt uns einen Stern am Aequator betrachten! Es ist evident, daß die aus der täglichen Bewegung hervorgehende Aberration zu jener, welche eine Folge der jährlichen Bewegung ist, in demselben Verhältnisse sein wird, wie die Geschwindigkeiten dieser beiden Bewegungen, weil die Geschwindigkeit des Lichts sich niemals ändert, welchen von beiden Fällen man auch vor Augen habe. Nun beschreibt jeder Punkt des Aequators vermöge der täglichen Bewegung 360° in einem Tage, und die Erde, vermöge ihrer jährlichen Bewegung einen Bogen von $\frac{360^\circ}{365,25637}$ in derselben Zwischenzeit. Nennt man r den Halbmesser des Aequators und R den mittlern Halbmesser der Ekliptik, so hat man:

$$\text{Tägl. Beweg.} : \text{Jährl. Beweg.} :: r \times 360^\circ : R \times \frac{360^\circ}{365,25637},$$

wovon man abzieht

$$\frac{\text{Jährl. Beweg.}}{\text{Tägl. Beweg.}} = \frac{R}{r} \times \frac{1}{365{,}25637};$$

wenn man P die Parallaxe der Sonne nennt, so wird man haben $r = R \sin. P$: wir haben Art. 43 $P = 8'',6$ angenommen; substituirt man diese Werthe in der vorhergehenden Gleichung, so findet man, daß die jährliche Bewegung über 50mal schneller ist, als die tägliche Bewegung; die Aberration, die eine Folge der letztern Ursache ist, wird folglich 65mal kleiner sein als jene, welche aus der erstern Ursache resultirt, so daß, wenn die jährliche Aberration auf 20″,25 angenommen ist, die tägliche Aberration gegen 0″,31 sein wird, eine Größe, die so sehr klein ist, daß sie sich auch den genauesten Beobachtungen entzieht, daher man sie auch bisher nicht beachtete. So genügt die Aberration des Lichts, welche einer der evidensten Beweise für die jährliche Bewegung der Erde ist, doch nicht um ihre tägliche Bewegung zu beweisen.

72. In einem Kapitel, das so ausführlich von der Gestalt der Erde handelt, darf auch erwartet werden, daß von ihrem Einfluß auf den Ursprung der Witterung, so wie von der Einwirkung der drehenden Bewegung auf ihre physische Beschaffenheit die Rede sein wird; und wir werden sehen, daß dieses Prinzip, in Verbindung mit den ersten Gesetzen der Mechanik, genüge, um auf eine sehr wahrscheinliche Art die verschiedenen Umgestaltungen zu erklären, welche die Erdkugel seit der Schöpfung bis auf den heutigen Tag erlitten hat. Allein wir dürfen uns hier nicht auf die vornehmsten Folgen von der Bewegung der Erde beschränken, ohne von einem sehr merkwürdigen meteorologischen Phänomen zu sprechen, dessen Erklärung man ebenfalls der drehenden Bewegung der Erde verdankt, nämlich jene Winde, welche regelmäßig wiederkehren, und

fortwährend in derselben Richtung wehen. Man weiß, daß die Winde durch eine Gährung entstehen, welche sich in der Atmosphäre durch die Ungleichheit der Temperatur ihrer einzelnen Theilchen erzeugt. Den Gesetzen der Mechanik zufolge, muß die von der Hitze am wenigsten ausgedehnte Luft, welche also die schwerere ist, dahin streben, die atmosphärischen Regionen einzunehmen, welche der Erde am nächsten sind, während die verdünntere Luft sich in die höhern Regionen erhebt. Nun aber unterhält die Sonne, da sie fortwährend am Himmel ist, durch ihre senkrechtfallenden Strahlen in den Tropenländern eine viel höhere Temperatur als an den Polen; die erhitzte Luft der Aequatorialgegenden erhebt sich, und wird sogleich von einer kalten Luft, die von den Polen herdringt, ersetzt, so daß zu beiden Seiten des Aequators zwei immense Luftströme entstehen, der eine kömmt von Norden, der andere von Süden. Die Erde schleppt nun in ihrer drehenden Bewegung die sie umgebende Luft mit. Würden alle Theilchen der Atmosphäre stets dieselbe Dichtigkeit behalten, würden sie durch ihre fortwährende Reibung auf der Oberfläche der Erde sich bald ins Gleichgewicht setzen, und sie würden, indem jedes eine Geschwindigkeit der Rotation annähme die zu dem Breitegrad proportionirt ist, nach einiger Zeit damit endigen, daß sie mit der Erdkugel zugleich sich umdrehen, als wären sie von dieser unzertrennlich. Allein die Ungleichheit der Temperatur in den verschiedenen Regionen stört fortwährend diesen Zustand der Ruhe; die Lufttheilchen, welche von den Polen nach dem Aequator gedrängt werden, haben eine geringere Drehungsgeschwindigkeit als jene von den Punkten der Erdoberfläche, welcher sie auf ihrem Durchzug begegnen; und der Zuschauer, welcher von der Bewegung der Erde in der Richtung von West nach Ost mitgeschleppt wird, begeg-

net ihnen, bevor das Gleichgewicht sich herstellen könnte; der Eindruck, welchen er empfängt, ist der Art, als ob die Erde sich gar nicht bewegte, diese Lufttheilchen tragen sich ungemein schnell in der Richtung von Ost nach West ihm entgegen. Wäre die Erde unbeweglich, so würden diese Luftströme nur vom Norden oder Süden kommen, aber durch die drehende Bewegung modifizirt, erzeugen sie bei ihrem Zuströmen nach den Aequatorialgegenden diese permanenten Winde, welche fortwährend von Nordost in die nördliche Hemisphäre, oder von Südost in die südliche Hemisphäre wehen, und die davon Passatwinde heißen.

Je nachdem die in den dem Aequator benachbarten Gegenden verdünnte Luft sich in die obern Regionen der Atmosphäre erhebt, drängt sie zur Rechten und Linken gegen die Pole der Erde die sie umgebende Luft zurück, und es entstehen auf diese Weise obere Luftströmungen in entgegengesetzter Richtung zu jenen auf der Erdoberfläche. Diese Gegenströmung kühlt sich nach und nach ab, und steigt wieder zur Erde herab, um die Räume auszufüllen, welche die von den Polen nach dem Aequator getragene Luft nicht ausgefüllt hat. So stellt sich zwischen den obern und untern Luftschichten eine fortwährende Circulation her, welche diesem Phänomen seinen dauernden Charakter verleiht. Man begreift übrigens, daß die Zufälle, welche diese Erscheinung begleiten, mit den Jahreszeiten, den durch die Lokalität gebotenen Umständen und den Breitegraden, unter welchen man sie beobachtet, wechseln müssen.

Wenn die Lufttheilchen plötzlich aus den Polgegenden in die Tropengegenden getragen würden, so müßte die Ungleichheit zwischen ihrer Drehungsgeschwindigkeit und jener auf den Punkten der unter dieser Breite gelegenen Erdoberfläche, anstatt regel-

mäßiger Windzüge furchtbare Orkane hervorbringen; allein da ihre Drehungsgeschwindigkeit durch ihre Berührung mit der Erde in gleichem Verhältnisse zunimmt, als sie sich von den Polen entfernen, und die Veränderungen dieser Geschwindigkeit auf die dem Aequator benachbarten Parallelkreise nur wenig bemerklich werden, so muß das Streben der Luft, die Richtung von Ost nach West zu nehmen, desto mehr abnehmen, je näher man den Gegenden ist, welche dort gelegen sind, und da unter dem Aequator selbst die beiden Gegegenströmungen sich beinahe das Gleichgewicht halten, so muß hier eine ewige Ruhe herrschen. Dies wird auch durch die Beobachtung der Passatwinde bestätigt. Die Nähe der Festländer kann ihre Heftigkeit gleichfalls modifiziren, und sogar ihre Richtung total ändern; auf der Westküste von Mexiko, von Panama an der Halbinsel Californiens, will man das Letztere bemerkt haben, und die Seefahrer wollten dort einen fast permanenten Westwind angetroffen haben, wo sie einen von den Aequinoktialgegenden herwehenden Ostwind erwartet hatten. Aber alle diese Thatsachen darf man nur als Ausnahmen von der Regel gelten lassen, die ihre Entstehung besondern Ursachen verdanken, und die Erklärung des allgemeinen Phänomens, die sich auf die drehende Bewegung der Erde stützt, behält dadurch nicht weniger alle Anzeichen von Wahrscheinlichkeit.

73. Wir wollen nun unsern Lesern drei der schönsten Entdeckungen ins Gedächtniß rufen, welche in den beiden letzten Jahrhunderten auf dem Felde der physischen Astronomie gemacht worden sind: die Bewegung des Lichts, die Veränderungen der Schwere, und die Aberration der Sterne. Wir haben gesehen, daß die beiden letztern Phänomene nothwendig durch die doppelte Bewegung der Erde entstehen mußten, und man könnte sie als Consequenzen

einer von Kopernik zur allgemeinen Geltung gebrachten Wahrheit gelten lassen. Aber jene großartigen Entdeckungen haben nicht diesen Gang genommen. Die Gelehrten des 17. Jahrhunderts wußten noch nichts von der Aberration. Nur die Beobachtung machte auf sie aufmerksam, aber erst 50 Jahre später fand man die wirkliche Erklärung dieses Phänomens. Die erste Idee von der Verminderung der Schwere am Aequator verdankte man der Beobachtung, obschon leicht vorauszusehen, nachdem die drehende Bewegung der Erde nicht mehr unbekannt war. „So", sagt Laplace, „mußten drei Jahrhunderte zwischen der Erfindung der Linsengläser und der Teleskope verfließen, und selbst dann noch mußte man nur einem Zufall diese Erfindung verdanken. Aber der menschliche Geist hat bei aller Geschäftigkeit im Aufbauen von Systemen doch stets abgewartet, daß die Beobachtung und Erfahrung ihn wichtige Wahrheiten kennen lehren sollten, zu deren Entdeckung schon eine einfache Schlußfolge hätte führen können." *

* Diminution de la pesanteur à l'equateur (Richer) 1672. — Vitesse de la lumière (Roemer) 1675. — Aberration des etoiles (Bradley) 1728.

Siebentes Kapitel.

Von den Planeten.

Wodurch sich die Wandelsterne von den Fixsternen unterscheiden. — Oppositionen und Conjunktionen. — Rechtläufige und rückläufige Bewegung. — Abstände der Planeten von der Sonne. — Untere und obere Planeten. — Stationen und Retrogradationen. — Systeme des Kopernik, Ptolemäus und Tycho de Brahe. — Besondere Theorien sämmtlicher Planeten.

74. Im ersten Kapitel hatten wir gesagt, daß die Planeten sich von den Fixsternen durch eine eigene Bewegung unterscheiden, die von der täglichen Bewegung unabhängig ist. Dieser Gestirne gibt es elf, als:

Merkur, Venus, die Erde,
Mars, Jupiter, Saturn,
Uranus, Pallas, Ceres,
Juno, Vesta.

Die sechs erstern waren schon im frühesten Alterthum bekannt, weil sie auch dem unbewaffneten Auge sichtbar sind, und weil es nur einer Beobachtung von einigen Tagen bedarf, um ihre Verrückungen zu bemerken. Die Entdeckung der fünf letztern ist das Verdienst einer jüngst vergangenen Epoche, und geschah mittelst der Teleskope, ohne deren Beistand man sie schwerlich jemals entdeckt haben würde. Uranus wurde erst 1781 als Planet erkannt, und die ersten Jahre des jetzigen Jahrhunderts zeichne-

ten sich durch die Entdeckung der 4 kleinern Planeten aus.

Wegen ihrer Nähe von der Erde erscheinen die Planeten in den Ferngläsern als Scheiben, was bei den andern Sternen nicht der Fall ist, ihr Licht funkelt nicht, sondern ist blaß und matt, was sich auch von ihren Satelliten oder Monden sagen läßt, eine natürliche Folge dessen, daß sie nur mit geborgtem Lichte glänzen, da in unserem Sonnensystem die Sonne das einzige Gestirn ist, das durch sich selber leuchtet; sie ist der einzige Brennpunkt, von wo aus Helle über das ganze Planetensystem sich verbreitet.

Die Planeten unterscheiden sich von einander durch ihren Gang, durch ihre physischen Erscheinungen und durch ihre Größe. Der beträchtlichste ist Jupiter, dessen Masse jene der Erde 333mal übertrifft. Nach ihm ist Saturn der größte, der an Masse ein Dritttheil des Jupiter beträgt. Die Venus ist der Erde an Masse ziemlich gleich, endlich die zwei kleinsten der auch im Alterthum bekannten Planeten sind Merkur und Mars. Die Masse des Uranus beträgt vielleicht noch nicht den achten Theil der Saturnsmasse; was nun die vier kleinern betrifft, welche das jetzige Jahrhundert entdeckte, so sind ihre Massen ganz unbedeutend, und dies leitet daher auf die Vermuthung, daß sie Bruchstücke eines größern Planeten seien, welcher durch eine heftige Bewegung in seinem Innern geborsten sein mochte.

Welche Position die Planeten auch einnehmen mögen, so sind sie, mit Ausnahme der Pallas, in einen engen Gürtel der himmlischen Sphäre eingeschlossen, welchen man den Thierkreis nennt. Dieser Gürtel ist durch die Erdbahn oder die Ekliptik in zwei gleiche Hälften getheilt. Die Planeten entfernen sich nur sehr wenig von dieser Ebene; die beiden Punkte, wo durch ihre Verrückungen jede

dieser Sterne die Ekliptik durchschneidet, heißen die Knoten der Bahn, die gerade Linie, welche diese Punkte verbindet, heißt die Knotenlinie; wenn ein Planet die Ekliptik durchdringt, indem er von der südlichen Seite dieser Ebene in die nördliche hinübergeht, so sagt man: er ist im aufsteigenden Knoten. Niedersteigend wird er genannt, wenn der Planet von der nördlichen Seite in die mittägige des Himmels in Bezug zur Ekliptik niedersteigt.

Befindet sich ein Planet mit der Sonne auf demselben größten Kreise, welcher durch die Pole der Ekliptik geht, und in Bezug zur Erde auf derselben Seite wie die Sonne, so sagt man: er ist in Conjunktion; befindet er sich aber in Bezug zur Erde auf der entgegengesetzten Seite von der Sonne in diesem Kreise, so ist er mit ihr in Opposition. Wenn die Breitenkreise durch die Sonne und durch den Planeten gezogen, unter sich einen rechten Winkel bilden, so ist der Planet in der Quadratur. In den Conjunktionen sind die Längen der Planeten und der Sonne dieselben, aber die Breiten können sehr verschieden sein, was daher kömmt, weil die Planeten sich nicht ganz streng in der Ebene der Ekliptik bewegen; der Planet und die Sonne passiren dann gleichzeitig den Meridian, gehen auch gleichzeitig auf und unter. In den Oppositionen differiren die Längen beider Gestirne gegen 180°, der Planet tritt Mitternachts in den Meridian, dann ist sein Glanz auch am hellsten. In den Quadraturen differiren die Längen der Sonne und des Planeten gegen 90° oder 270°, und der Eintritt in den Meridian geschieht um 6 Uhr Morgens oder um 6 Uhr Abends.

Wenn ein Planet, von der Erde aus gesehen, nach und nach verschiedenen Punkten des Thierkreises zu entsprechen scheint, indem er derselben Ordnung der

Zodiakalzeichen, wie die Sonne auf ihrem jährlichen Umlauf folgt, d. h. von West nach Ost, sagt man: seine **Bewegung ist rechtläufig**, wenn er aber in der umgekehrten Richtung im Thierkreise sich vorwärts bewegt, d. h. von Ost nach West, so ist seine **Bewegung rückläufig**.

Die Sonne und der Mond scheinen stets eine rechtläufige Bewegung zu haben, aber die Planeten sind in einem Theile ihres Laufes immer rechtläufig, und in dem andern immer rückläufig.

75. Die Distanz von der Sonne ist nicht dieselbe für alle Planeten. **Obere Planeten** nennt man jene, welche von der Sonne weiter entfernt sind als die Erde, nämlich: Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und die vier kleinen Planeten Ceres, Pallas, Vesta, Juno. **Untere Planeten** nennt man jene, welche zwischen der Sonne und der Erde situirt sind, nämlich: Merkur und Venus. Zum Beschlusse folge hier ein Abriß der verschiedenen Planeten nach Verhältniß ihres geringern oder weitern Abstandes von der Sonne, die Figur 57 stellt uns die Anordnung des Planetensystems dar, welche daraus resultirt:

☿	Merkur	0,387	⚳	Ceres	2,767
♀	Venus	0,723	⚴	Pallas	2,768
♁	Erde	1,000	♃	Jupiter	5,203
♂	Mars	1,524	♄	Saturn	9,539
⚶	Vesta	2,373	♅	Uranus *	19,183
⚵	Juno	2,667			

* Die Abstände der Planeten von der Sonne kann man auf folgende Art sich ins Gedächtniß prägen. Man schreibt auf eine horizontale Linie die Progression 3, 6, 12 ꝛc., indem man mit der Null anfängt: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192. Zu jeder dieser Zahlen rechnet man 4 hinzu, und stellt sie über die Zeichen der 8 Hauptplaneten, nach dem Verhältniß ihrer Entfernung von der Sonne. Man wird also haben:

4	7	10	16	28	52	100	196
☿	♀	♁	♂	⚳	♃	♄	♅.

Durch ein gründliches Studium der planetarischen Bewegungen, so wie durch die Methoden, welche wir weiter unten kennen lernen werden, ist man endlich dahin gelangt, mit Genauigkeit die hier aufgeführten Zahlen bestimmen zu können; aber wir mußten vorher einen Begriff von ihnen haben, ehe wir mit der Geschichte jedes einzelnen Planeten uns beschäftigen können. Man begreift wohl, daß diese Abwechslung in den Distanzen der Sterne von der Sonne, und folglich auch von der Erde, auf die Begriffe, die wir uns von ihrer physischen Beschaffenheit machen, oder von den Gesetzen, welchen sie — je nach ihrer Größe, ihrem Glanze oder ihrer scheinbaren Bewegung — gehorchen, einen großen Einfluß haben müssen. Wie wir weiter unten sehen werden, ist dies auch wirklich die Hauptursache von der Verschiedenheit der Erscheinungen, die ihr Gang uns darbietet, und welche bis ins 17. Jahrhundert, wo Kopernik die wahre Erklärung gab, der Forschung der Gelehrten sich zu entziehen strebte.

In der That, alle Bewegungen der Planeten, die wir ihrer Beweglichkeit halber auch Wandelsterne nennen, kommen uns unregelmäßig, oft auch unbegreiflich vor, wenn die Erde als ein fixer Körper betrachtet wird, um welche sich jene drehen; hingegen würden wir in den Bewegungen der Planeten eine vollkommene Regelmäßigkeit und ein allgemeines Gesetz, welchem sie gehorchen, erkennen, wenn wir uns in die Sonne versetzen wollten, um von dort aus den Gang der Planeten zu beobachten.

Man unterscheidet vier Arten von planetarischen Umläufen: die **tropische** Umwälzung, oder den

Diese Tabelle zeigt an, daß, wenn 10 die Distanz der Erde von der Sonne, 4 jene des Merkur, 7 jene der Venus ꝛc. sein wird. Dieses Gesetz wurde bemerkt, als man nur noch die alten Planeten kannte. Man schloß auf einen unbekannten Planeten, der sich zwischen Mars und Jupiter befinden müsse. Die Entdeckung der 4 Planetoiden bestätigte jene Vermuthung.

Zeitraum, welcher für den im Mittelpunkt der Sonne stehenden Beobachter von einer Wiederkehr eines Planeten bis zur andern in dasselbe Aequinoktialzeichen verfließen würde; die siderische Umwälzung, oder die Zeit, welche ein Planet bedarf, um zu demselben Stern zurückzukehren; die anomalistische Umwälzung, oder der Zeitraum, innerhalb dessen ein Planet zu demselben Punkt seiner Bahn zurückkömmt; endlich die synodische Umwälzung, diese ist der für den im Mittelpunkt der Erde stehenden Beobachter erforderliche Zeitraum, welcher den Planeten wieder mit der Sonne in Conjunktion treten läßt; die eigene Bewegung eines Planeten heißt die geocentrische oder heliocentrische, je nachdem der Planet vom Mittelpunkt der Erde aus, oder vom Mittelpunkte der Sonne aus, gesehen wird.

76. Zwischen den Abständen der Planeten von der Sonne und den Bewegungen, welche sie an die verschiedenen Orte des Himmels versetzt, herrscht eine allgemeine Verwandtschaft, von welcher wir in der Folge handeln werden. Diese gestattet, die mittlere Bewegung eines Planeten in einer gegebenen Zeit, wenn seine Distanz von der Sonne gekannt ist, und umgekehrt, zu bestimmen. Allein für jetzt genüge uns als eine Thatsache anzuführen, welche aus den ersten Beobachtungen des Planetenlaufs resultirt, daß die mittlere Bewegung eines jeden Planeten, mit seiner Annäherung zur Sonne an Geschwindigkeit zunimmt, so daß die entferntesten sich auch am langsamsten bewegen, und welche sehr große Strecken zu durchlaufen haben, bis sie einen vollständigen Umlauf vollenden, oder um zu demselben Punkt des Himmels zurückzukehren, von dem sie ausgegangen sind. *

* Wenn also die Distanz des Jupiter von der Sonne 5,203mal jene der Erde ist, so wird seine Umlaufszeit 4332,58 Tage oder

Staatsbibliothek München

Nachdem dieser Satz festgestellt ist, betrachten wir zuerst einen untern Planeten, d. h. einen Planeten, welcher einen geringern Abstand von der Sonne hat als die Erde z. B. Merkur oder Venus. Die Bahn, welche der Planet um die Sonne beschreiben soll, wird auf allen Seiten von der Erdbahn oder der Ekliptik eingeschlossen sein; nehmen wir nun an, S sei die Sonne (Fig. 58 bis), abcd die Planetenbahn, ABCD jene der Erde, LMNPQ der Zodiak. Indem der Planet in a, die Erde in A ist, wird der auf ihrer Oberfläche stehende Beobachter den Planeten zum Punkt L des Zodiaks in Beziehung setzen; einige Tage nachher, wenn der Planet in den Punkt b getreten ist, und die sehr langsam sich fortbewegende Erde in dem Punkt B angekommen ist, wird der Planet auf dem Zodiak den Bogen LH in rückläufiger Bewegung zu beschreiben scheinen, d. h. in der Richtnng von Ost nach West, oder gegen die Reihefolge der Zodiakalzeichen. In der Zwischenzeit, welche der Planet bedurfte, um vom Punkt a zum Punkt b überzugehen, war ein Moment, wo er sich auf derselben geraden Linie mit der Sonne und der Erde befand. Der Planet trat dann in den Meridian um Mittag, gleichzeitig mit der Sonne; sein Auf- und Untergang trafen mit jenen der Sonne zusammen, also war er in ihre Strahlen versenkt, und folglich für den Beobachter unsichtbar. Damals war der Planet in Conjunktion mit der Sonne, und da er der Erde näher war als die Sonne, so war diese Conjunktion eine untere.

Nachdem die Erde ins C angekommen, und der Planet ins c, so daß der Gesichtsstrahl Cc die Planetenbahn berühren mußte, wird der Planet

ziemlich 12 Jahre enthalten, und da die Distanz des Saturns von der Sonne 9,539mal jene der Erde ist, so beträgt seine Umlaufszeit 10759,21 Tage oder gegen 29 1/2 Jahre.

während einigen Tagen auf jener Linie sich bewegen, welche in dieses Intervall mit dem Elemente der vom Planeten beschriebenen Curve sich vermischt. Der Beobachter wird also während einigen Tagen ihn mit demselben Punkt des Himmels in Beziehung bringen, er wird ihm beinahe unbeweglich vorkommen, dann sagt man: der Planet sei stationär. Wennn der Planet von c in d übergehend, auf derselben geraden Linie, wie Sonne und Erde, angetroffen wird, von der Erde aber noch entfernter als die Sonne, so sagt man: der Planet sei in der obern Conjunktion. Während der Planet von c gegen b seinen Gang nahm, schien er auf der Ekliptik den Bogen NQ von West nach Ost, oder nach der Reihefolge der Zodiakalzeichen zu beschreiben; er wird also seit dem Punkt, wo er stationär war, bis zur obern Conjunktion eine rechtläufige Bewegung zu haben scheinen, und diese rechtläufige Bewegung setzt er fort, bis der Planet im e und die Erde im E ist, so daß der Gesichtskreis Ee die Tangente der Planetenbahn sei. Alsdann wird seine allmählig langsamere Bewegung plötzlich aufzuhören scheinen, der Planet wird einige Tage hindurch stationär, bis er endlich, gegen die untere Conjunktion vorschreitend, von der rechtläufigen Bewegung zur rückläufigen übergehen wird, nach denselben Gesetzen, wie in der vorhergehenden Umwälzung.

Würde die Erde stets dieselbe Position in der Ekliptik behalten, während der Planet seinen Umlauf in der Bahn vollendet, so würde der z. B. in X placirte Beobachter den Planeten einen nur unbeträchtlichen Bogen im Zodiak beschreiben sehen, bald von der einen Seite der Sonne, bald von der entgegengesetzten; er würde ihm sich nicht von der Sonne zu entfernen scheinen, und nur in einem beschränkten Umkreise um diese oscilliren, wie die

Unruhe der Uhr rings um den Punkt, wo sie aufgehangen ist. Nun ist es leicht zu begreifen, daß die Bewegung der Erde diese Erscheinungen nur obenhin wechseln, und die Ausdehnung der Oscillationen, welche man beobachten würde, wenn die Erde unbeweglich wäre, sich erweitern ließe. Die untern Planeten müssen uns also wie Satelliten der Sonne vorkommen, und die nur kurze Excursionen zu beiden Seiten der Sonne machen, bald in einer rechtläufigen, bald in einer rückläufigen Bewegung; dem Uebergang von einem dieser Zustände zum andern würde der Moment vorhergehen, wo der Planet stationär erscheint. Noch ist zu bemerken, daß alle Erscheinungen, welche die untern Planeten darbieten, genau dargestellt sein, würden, wenn man sich die Erde unbeweglich dächte, die Sonne diese in der Ekliptik umkreisend, und dadurch den Planeten in einer Bahn, deren Mittelpunkt die Sonne einnähme, sich bewegen ließe. Diese letztere Erklärung der verschiedenen Umstände in der Bewegung der untern Planeten stellt sich der Verstand zuerst vor, sie würde aber nicht auf die Bewegung der obern Planeten sich anwenden lassen. Um also unter alle Theile des Systems eine Gleichförmigkeit herzustellen, sahen sich die ersten Astronomen gezwungen, zu andern Hypothesen Zuflucht zu nehmen.

77. Betrachten wir indeß einen obern Planeten, dessen Bahn ABCD (Fig. 58) vorstellen wird, während abcd die Erdbahn repräsentirt. Ist die Erde im a, so nehmen wir an, der Planet sei im A. Indem wir den Gesichtsstrahl Aa bis zum Himmel verlängern, wird uns der Planet im Punkt L des Zodiaks erscheinen; wenn, während der Planet von A in B übergeht, die Erde unbeweglich bliebe, würde sie uns sodann dem Punkt M zu entsprechen scheinen, allein während der Planet den Bogen AB beschreibt,

geht die Erde, deren Bewegung viel schneller ist, vom Punkt a zum Punkt b über, und der Planet scheint auf dem Zodiak den Bogen LH weit größer als LM beschrieben zu haben, so daß die Bewegung der Erde sich der Bewegung des Planeten hinzuzufügen scheint. In diesem Zustande bewegt sich der Planet nach der Reihefolge der Zodiakalzeichen, seine Bewegung ist also rechtläufig, und die Bewegung der Erde scheint uns diese viel größer annehmen zu lassen als sie wirklich ist. Zwischen den Positionen A und B ging die gerade Linie, welche die Erde und den Planeten verbindet, durch die Sonne, der Planet war also dann in seiner Conjunktion, indem er gleichzeitig mit der Sonne aufging und durch den Meridian ging; er mußte also in den Sonnenstrahlen verschwinden, und für den Beobachter auf der Oberfläche der Erde unsichtbar bleiben.

Ist nun die Erde im Punkt c angelangt und der Planet im C, so daß die gerade Linie Cc die Tangente von der Bahn abcd ist, so wird, während die Erde den Bogen cc′, welcher mit der Tangente Cc confundirt scheint, beschreiben wird, der Planet wie unbeweglich betrachtet werden können, wir bringen ihn beinahe zu demselben Punkt N des Himmels in Bezug, und folglich wird der Planet während einiger Tage uns stationär erscheinen.

Aber wenn die Erde im Punkt d und der Planet in D angekommen ist, bringen wir ihn zum Punkt O des Zodiaks in Beziehung, und er wird uns rückläufig geworden scheinen, wenn er dem Bogen NO folgt, obschon seine Bewegung vom Mittelpunkt der Sonne aus gesehen, nach der Reihefolge der Zodiakalzeichen gerichtet ist. Die Bewegung fährt in den folgenden Tagen fort rückläufig zu sein; ist die Erde im t, und der Planet im T, so wird er in Opposition mit der Sonne sein, er wird um

Mitternacht in den Meridian treten, und in seinem hellsten Glanze strahlen. In den folgenden Tagen wird der Planet mehr und mehr rückläufig, bis endlich, wenn die Erde im e und der Planet im E angekommen ist, die sie verbindende gerade Linie abermals die Ekliptik berühren wird, dann scheint der Planet einige Tage stationär zu sein, so wie als die Erde im Punkt c war, und er nimmt sodann seine rechtläufige Bewegung wieder an, bis der Gesichtsstrahl, welcher ihn in sich schließt, abermals die Erdbahn berühren wird.

78. So müssen uns also, bloß durch die Einrichtung des Sonnensystems und die Beziehungen der mittlern Bewegungen zu einander, die obern wie die untern Planeten wechselweise rechtläufig, stationär und rückläufig erscheinen, aber es besteht unter diesen Bewegungen ein wichtiger Unterschied, die obern Planeten können sich nach allen rechtwinkligen Abständen von der Sonne entfernen, so lange die untern Planeten nicht gewisse Grenzen in ihren Entfernungen überschreiten; ihre größte Entfernung, welche man Digression oder Elongation nennt, ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Bahn, den sie um die Sonne beschreiben, von der Erde aus gesehen würde. * Daraus folgt, daß ein unterer Planet sich nie mit der Sonne in Opposition befinden kann, d. h. wenn er so placirt

* In dem Dreieck STP (Fig. 59), welches durch die geraden Linien gebildet ist, die die Mittelpunkte der Sonne, der Erde und des Planeten mit einander verbinden, sind die drei Seiten die abwechselnden Abstände der Sonne, der Erde und des Planeten. Der Winkel zur Sonne TSP heißt Commutation, der Winkel zur Erde STP die Elongation, endlich der Winkel zum Planeten SPT ist die jährliche Parallaxe oder Parallaxe der großen Bahn, das ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Ekliptik, vom Mittelpunkt des Planeten aus gesehen würde. Im Dreieck SPT kann man alle Theile des Dreiecks berechnen, wenn eine Seite und zwei andere Theile gekannt sind. Von den Sternen aus gesehen, käme das von der Sonne, der Erde und dem Planeten gebildete Dreieck uns wie ein und derselbe Punkt vor.

ist, daß die Erde zwischen ihn und die Sonne sich schiebt; dasselbe würde auch sich ereignen, wenn die Erde der Mittelpunkt seiner Bewegung wäre, wie dies beim Monde der Fall ist.

Der rückläufigen Bewegung der untern Planeten geht die untere Conjunktion nicht nur vorher, sondern folgt ihr auch; sonst sind diese Planeten stets rechtläufig. Die obern Planeten sind in den Conjunktionen rechtläufig, vor und nach den Oppositionen aber rückläufig.

Dem Uebergang von der rechtläufigen Bewegung zur rückläufigen, und umgekehrt von der rückläufigen zur rechtläufigen geht ein Moment vorher, wo der Planet unbeweglich scheint, dies nennt man seine Station. Man hat gesehen, daß dieses Phänomen ausschließlich von der relativen Position der Erde und des Planeten abhängt. Der Bogen, welcher die beiden Stationen umfaßt, und welchen der Planet durch eine der Reihefolge der Zeichen conträre Bewegung zu beschreiben scheint, nennt sich der Bogen der Rückläufigkeit. Dieser Bogen ist nicht für alle Planeten derselbe, er hängt von ihrer Distanz zur Sonne ab, und ist desto beträchtlicher, je weiter der Planet von der Sonne entfernt ist.

Wir haben bisher immer vorausgesetzt, daß die Planetenbahnen kreisförmig seien, und daß ihre Bewegungen auf der Ebene der Ekliptik zu Stande kommen. Diese Hypothese hat nicht das Verdienst der Zuverlässigkeit, die Planetenbahnen entfernen sich nur wenig von der Kreisfigur, und die Flächen, welche sie einschließen, sind etwas zur Ebene der Ekliptik geneigt. Aber die geringen Verschiedenheiten zwischen unserer Annahme und der Wirklichkeit, bringen nur unbedeutende Modifikationen in den Erscheinungen hervor, und können nicht auf merkliche Weise sie alteriren. Also sind diese Veränderungen

der Richtung, welche der Beobachter auf der Erde in den Bewegungen der Planeten bemerkt, nur scheinbar. Vom Mittelpunkte der Sonne aus würden diese Bewegungen sämmtlich in der Richtung von West nach Ost erscheinen; die Ungleichheiten, welche wir hier bemerken, sind die Folge der Position und der Bewegungen der Erde von wo aus wir sie beobachten, und diese Phänomene sind ebenso einfach, wenn man mit Kopernik die Sonne als den Mittelpunkt des Planetensystems annimmt, was den ersten Astronomen unmöglich war, weil von ihrem Gesichtspunkt der Beobachtung aus diese Phänomene ihnen etwas complicirt vorkommen mußten.

79. Die alten Astronomen hielten die Erde für unbeweglich, und ließen um sie Sonne und Sterne kreisen; die Sonne in einer kreisförmigen Bahn, die Planeten in Kreisen, deren bewegliche Mittelpunkte sich selbst um andere Kreise wälzten, welche, wie die Sonnenbahn, die Erde zum Mittelpunkt hatten. Ptolemäus adoptirte diese Hypothese, er fand sie von seinen Vorgängern gegeben, vervollkommte sie, und schuf daraus ein ordentliches System, welches noch jetzt seinen Namen führt. Es ist interessant zu erfahren, wie man dahin gelangte, in diesem Systeme die scheinbaren Unregelmäßigkeiten der planetarischen Bewegungen zu erklären. Nehmen wir an, daß es sich um einen obern Planeten handle, welchen wir um den Kreis OQ (Fig. 60), dessen Mittelpunkt der Kreis CB beschreibt, uns in Bewegung denken. Der bewegliche Kreis OQ ist das, was man in der Geometrie einen Epicyklus nennt. Im Moment der Opposition placiren wir die Erde ins T, die Sonne ins S, und den Planeten, welcher jetzt in seinem hellsten Glanze leuchtet, dessen scheinbarer Durchmesser in seinem Maximum ist, und folglich der Erde am nächsten, auf der verlängerten Linie ST im O. Nehmen wir an,

daß einige Tage später die Sonne im S′ angetroffen wird, und daß der Mittelpunkt des Epicyklus von C in B vorschreitet. Würde der Planet seine frühere Position nicht verlassen haben, so befände er sich im O′ auf der Linie TB; allein Ptolemäus, nimmt zur Erklärung seiner scheinbaren Rückläufigkeit in der Nähe der Opposition an, daß er den Kreis OC mit einer Bewegung durchlaufe, welche dieselbe Richtung nimmt wie der Kreis des Mittelpunkts im Epicyklus, d. h. von O′P vorwärts sich bewegend; und um seine Position zu finden, zieht er den Halbmesser BP′ parallel von TS′, und placirt den Planeten ins P′, so daß er den Bogen O′P′ in derselben Zwischenzeit beschrieben zu haben scheint, welchen der Mittelpunkt des Epicyklus bedarf, um von C in B′ überzugehen. Nehmen wir nun an, daß die erste Bewegung viel schneller sei als die zweite in der Nähe der Opposition, so wird, da der Bogen OO′ sehr klein ist, der Planet einem Punkte des Himmels entsprechen, welcher westlich vom Punkt O placirt ist. Er scheint demnach rückläufig geworden zu sein. Je mehr sich der Planet von der Opposition entfernt, desto mehr scheint die Geschwindigkeit seiner rückläufigen Bewegung abzunehmen; sie reduzirt sich endlich auf Null, und nachdem der Planet einige Stunden oder Tage stationär geworden, beginnt er wieder seine rechtläufige Bewegung. Wenn er sich auf der verlängerten Linie befindet, die von der Sonne zur Erde gezogen ist, und auf dem höchsten Punkt seines Epicyklus, ist er von uns am entferntesten, und seine eigene Bewegung, indem sie sich durch jene des Mittelpunkts des Epicyklus verstärkt, um seine scheinbare Bewegung zu bilden, diese Bewegung also ist eine rechtläufige und die möglichst größte. Später nimmt sie allmählig ab, je tiefer der Planet gegen den Punkt O herabsteigt, wird Null, und verwandelt sich in eine rückläufige

gen der Planeten, ihren Stationen, Rückläufigkeiten rc., sich Rechenschaft geben, und selbst durch genaue Formeln die Dauer und Ausdehnung ihrer Bewegungen bestimmen. Hier genügte es, das Verhältniß des Halbmessers des Epicyklus zu jenem des Kreises, über welchem er sich bewegt, zu kennen; ein Verhältniß, welches dasselbe ist, wie die mittlern Distanzen des Planeten von der Sonne und von der Erde, und was Ptolemäus durch die Beobachtung der Bewegungen mit hinreichender Genauigkeit bestimmte. Da er eines Mittels entbehrte, um die unbeschränkten Distanzen zu messen, wählte er willkürlich die Halbmesser der Epicyklen, indem seine Sorgfalt nur darauf gerichtet war, die Planeten unter sich zu ordnen, und zwar indem er sie nach ihren Umlaufszeiten einander unterordnete, weil er ganz richtig urtheilte, daß die entferntesten jene sein müssen, bei welchen die Conjunktionen nach den längsten Zwischenzeiten wiederkehrten. Er rangirte also Merkur und Venus unter die Sonne und unter den Mond, dann kamen Mars, Jupiter und Saturn. Diese Anordnung genügte zur Erklärung aller zu seiner Zeit gekannten Erscheinungen; allein die Beobachtung der Planetenphasen, auf welche zuerst die Ferngläser unsere Aufmerksamkeit hinleiteten, gibt dieses System nicht nur als unzulänglich zu erkennen, sondern auch als unanwendbar. Placirt man also die Epicyklen des Merkur und der Venus zwischen Sonne und Erde, so erweist es sich, daß sowohl in den obern als untern Conjunktionen diese beiden Planeten wie schwarze Punkte vor der Sonnenscheibe gehen müssen. Wir haben aber gesehen, daß in den untern Conjunktionen es gar keinen Durchgang gibt, und daß in den obern Conjunktionen uns die Sonnenscheibe gänzlich hell erschien, was also beweist, daß die Bahnen dieser beiden Planeten nothwendiger Weise die Sonne ein-

fassen, und daß diese folglich der Mittelpunkt ihrer Bewegungen ist.

80. Man hat oft bemerkt, daß eine ganz einfache Verbesserung schon hinreichen würde, um dem Ptolemäischen System eine Zuverlässigkeit zu verschaffen, wie sie von den neuern Beobachtungen erwartet wird. Es würde genügen, wollte man den Kreisen, welche die Mittelpunkte der Epicyklen von jedem der untern Planeten beschreiben, die Distanz der Sonne von der Erde zu Halbmessern geben, und den Epicyklen selber die Distanz des Planeten von der Sonne. Was die obern Planeten anbetrifft, so würde man annehmen, die Halbmesser ihrer Epicyklen seien gleich der Distanz der Erde von der Sonne, und den Kreisen, in welchen sie sich bewegen, gebe man die Distanz des Planeten von der Sonne zu Halbmessern. Dieser Wechsel ist erlaubt, weil Ptolemäus in seinem Systeme nur das Verhältniß der Halbmesser der Epicyklen zu den Distanzen ihres Mittelpunktes von der Erde fixirt, und nicht ihre unbeschränkte Größe anzeigt. Man sieht, daß durch diese Verbesserung die untern Planeten um die Sonne kreisen, welche sie in ihrer jährlichen Bewegung mit sich zieht; und wir haben schon oben bemerkt, daß die Phänomene, welche ihre Bewegungen uns darbieten, sich in beiden Hypothesen, sowohl in der Kopernikanischen als im Ptolemäischen, gleich gut erklären ließen. Was die obern Planeten anbetrifft, so wird nichts von alle dem, was über die abwechselnd rechtläufigen und rückläufigen Bewegungen der Planeten in diesem Systeme gesagt worden ist, geändert zu werden brauchen, und man kann außerdem auch sehen, daß diese Verbesserung wieder dahin kommt, um anzunehmen, daß die obern Planeten sich wie die untern Planeten um die Sonne bewegen, die sie in ihrer Bewegung um die Erde mit sich zieht, was also eine vollkommene Ana-

logie unter allen Bewegungen herstellen würde. Wenn man annimmt, der Halbmesser des Epicyklus (Fig. 60) sei gleich der Distanz der Erde von der Sonne, wenn der Planet in P′, die Sonne in S′ ist, so wird wirklich BP′ parallel und gleich TS′ sein, und die Figur S′TBP′ ein Parallelogramm, dessen Diagonallinie TP′ den Abstand des Planeten von der Erde, diese als unbeweglich gedacht, darstellen wird. Nimmt man nun an, daß, wenn die Sonne von S in S′ übergeht, der Planet sich auf der verlängerten Linie S′P′ befindet, welche mit dem Halbmesser TS einen Winkel TS′P′ = TBP′ bildet, d. h. gleich dem Ueberschuß der Bewegung der Sonne über jene des Planeten, oder mit andern Worten, seiner relativen Bewegung, und indem wir S′P′ der mittlern Distanz des Planeten von der Sonne gleich halten, wird man seine Position in P′ haben. Man sieht also, daß durch diese Construktion man in jedem Augenblick den Ort des Planeten auf der Bahn, welche er um die Sonne, die ihn in ihre Bewegung um die Erde mit hineinzieht, beschreiben soll, bestimmen könnte, und nach dieser Construktion beschreibt auch wirklich die Extremität P′ des Halbmessers S′P′ den Epicyklus um den beweglichen Punkt B. Man sieht ferner, daß in dieser Hypothese das Dreieck S′TP′ vollkommen gleich wird mit SPT′, weil S′P′ gleich mit SP; so werden die beiden Dreiecke alsdann eine gleiche Seite, anstoßend an zwei gleiche Winkel haben, während in der Hypothese des Ptolemäus, da der Halbmesser BP′ des Epicyklus willkürlich, folglich das Dreieck P′B′T dem Dreieck SPT′ nur ähnlich war.

Jenes System, welches die Sonne mit allen Planeten um die unbeweglich gedachte Erde kreisen läßt, nennt man nach Tycho de Brahe, seinem Erfinder. Man sieht also, daß man mittelst einer sehr einfachen Verbesserung wieder unmittelbar zu Pto=

lemäus hingeführt wird, und es verschwindet dann der gewichtigste Einwurf, den dieses letztere System erfahren hat, nämlich in willkürlichen Kreisen so schwere Körper wie die Planeten sind, um imaginäre Mittelpunkte sich bewegen zu lassen, wo jede Kraft fehlt, um der Centrifugalkraft das Gleichgewicht zu halten. Aber Tycho de Brahe's System leidet an andern Inconvenienzen, es läßt die Sonne und alle Planeten sich um die Erde bewegen, also Körper, welche zusammen eine Masse bilden, die gegen 1400000 jene der Erde übertrifft. Die von den obern und untern Planeten beschriebenen Curven haben dann keine gemeinschaftliche Verwandtschaft unter sich; die Harmonie, welche aus der Homogenität hervorgehen und das erste Kennzeichen der wirklichen Naturgesetze bilden soll, wird in diesem System vergebens gesucht; ferner ist man dann auch genöthigt, um nicht in die absurdesten Voraussetzungen zu verfallen, der Erde ihre tägliche drehende Bewegung um ihre Axe zu geben; dann aber läßt sich nicht einsehen, warum man ihr nicht auch die jährliche Bewegung um die Sonne bewilligen sollte, welche schon beim ersten Blick uns wahrscheinlicher vorkommt. Endlich, wenn die Hypothese von der Unbeweglichkeit der Erde von den ältesten Astronomen für die einfachste gehalten wurde, um die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper zu erklären, so muß die Verwicklung, in welche nach und nach die verschiedenen Theile dieses Systems geriethen, ihr auch diesen Vortheil rauben; während die Annahme einer Bewegung der Erde mit den Planeten um die Sonne sowohl sämmtliche Phänomene am befriedigendsten erklärt, als auch dies auf die faßlichste und wahrscheinlichste Art darthut.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen über die planetarischen Bewegungen, gehen wir zur Kenntnißnahme jedes einzelnen Planeten über.

Untere Planeten.

Merkur.

81. Wenn man zu gewissen Jahreszeiten den Blick gegen Westen wendet, bemerkt man ein Gestirn, das sogleich nach der Sonne untergeht. Am folgenden Tage sieht man, wie es sich nach und nach aus den Strahlen der Abendsonne, in welche es anfänglich versenkt war, herausarbeitet, mehr und mehr sich von der Sonne entfernt, bis es endlich gegen $22\frac{1}{2}^{\circ}$ von ihr weg ist; wenn es diese Weite erreicht hat, kehrt es wieder zu ihr zurück. Wenn die Distanz nur noch 18° beträgt, scheint es einen Augenblick stationär zu sein, dann setzt es seinen rückläufigen Gang fort, und endigt damit, daß es sich Abends in die Strahlen der Abendsonne taucht. Nachdem es einige Tage unsichtbar gewesen, sieht man es am Morgen kurz vor der Sonne aufgehen, in den folgenden Tagen entfernt es sich abermals bis zu 18°, scheint dann still zu stehen, und nachdem es wieder die Grenze von $22\frac{1}{2}^{\circ}$ erreicht hat, sieht man es zur Sonne zurückkehren, in den Strahlen der Abenddämmerung verschwinden, und in den folgenden Tagen auf der entgegengesetzten Seite wieder zum Vorschein kommen. Das Intervall zwischen der Wiederkehr des Planeten zu derselben Position, in Beziehung zur Sonne, beträgt 106 bis 130 Tage, die mittlere Dauer der Rückläufigkeit 22 T. 12 St., und der durchlaufene Bogen $12^{\circ}\,33'$.

Das Gestirn, dessen Gang wir nun verfolgen wollen, ist Merkur. Dieser Planet kommt uns wie ein Satellit vor, welcher auf beiden Seiten der Sonne oscillirt, sich aber wenig von ihr entfernt, daher schwer zu beobachten ist, denn er ist fast immer

in ihren Strahlen verborgen, oder mit dem Lichte der Abenddämmerung confundirt. Die scheinbare Unregelmäßigkeit seines Ganges darf uns nicht überraschen, denn diese Erscheinungen sind dieselben, welche jeder Planet, dessen Distanz von der Sonne geringer ist als jene der Erde von demselben Gestirn, darbieten muß. Wir haben auch wirklich gesehen, daß zufolge der Bewegung der Erde, die untern Planeten uns wie Satelliten vorkommen müssen, die um die Sonne etwas Weniges oscilliren, Abends nach Sonnenuntergang im Westen sichtbar oder Morgens vor Sonnenaufgang im Osten; bald rechtläufig, bald stillstehend, bald rückläufig, obschon diese Abwechslung in der Richtung nichts Wirkliches an sich haben kann. Vom Mittelpunkt der Sonne aus gesehen, würden die Bewegungen sämmtlicher Planeten uns rechtläufig, oder dieselbe Richtung mit der Sonne nehmend, vorkommen. In Fernröhren, welche stark vergrößern, bietet Merkur anologe Phasen wie der Mond dar; seine gewöhnliche Gestalt ist die des wachsenden Mondes, dessen Hörner der Sonne entgegengesetzt sind. Die mikrometrischen Beobachtungen zeigen, daß sein Durchmesser variirt, und daß folglich dieser Planet nicht immer in gleicher Entfernung von der Sonne sein kann. Diese Veränderungen hängen von seiner Position in Beziehung zur Sonne ab, so wie von der Richtung, welche ihre Bewegung nimmt. Die Distanz des Merkur von der Sonne ist die möglichst größte, wenn er sich am Morgen in ihren Strahlen verbirgt, oder Abends, wenn er sich denselben zu entziehen sucht. In seinem Minimum ist er, wenn er Abends in ihren Strahlen verschwindet, oder Morgens aus denselben herauszukommen scheint. Der scheinbare Durchmesser wechselt mit den Entfernungen, sein Werth in der mittlern Entfernung beträgt 6″,02.

Zuweilen bemerkt man, in der Zwischenzeit von

seinem Verschwinden bis zum Wiedererscheinen, auf der Sonnenscheibe einen Fleck, welcher dadurch entsteht, daß der Planet einen Theil ihrer Strahlen auffängt, was, so wie die Phasen des Planeten, beweist, daß der Planet nicht durch sich selbst leuchtet, sondern seinen Glanz von der Sonne borgt. Dieses Phänomen aber wiederholt sich nicht bei jedem Umlauf, weil, wie bei Sonnenfinsternissen, auch hier mehre Umstände zusammenwirken müssen. Es müssen nämlich beide Gestirne dieselbe Breite haben, oder daß sie beinahe auf demselben von der Erde ausgegangenen Gesichtsstrahl sich befinden müssen. Die Perioden, welche ihn uns wieder zurückbringen sind 6, 7, 13, 46 und 263 Jahre. Es ist übrigens unschwer, den Moment des Durchgangs nach der Breite des Planeten, die ja in allen Ephemeriden verzeichnet ist, zu bestimmen.

Die Beobachtungen sagen uns, daß der Merkur die Sonne in einer Bahn umkreist, welche auf allen Seiten von jener eingeschlossen wird, welche die Erde in ihrer jährlichen Bewegung beschreibt. In seinen obern Conjunktionen empfängt der Planet das ganze Licht der Sonne, und muß uns demnach voll erscheinen, dann ist er aber von uns am entferntesten; in den Quadraturen ist nur die Hälfte seiner Scheibe erleuchtet, um diese Zeit erscheint er Morgens und Abends vor Sonnen-Auf- und Untergang in der Gestalt des zunehmenden Mondes, endlich in seinen untern Conjunktionen, wenn Merkur sich zwischen Sonne und Erde befindet, ist seine erleuchtete Scheibe gänzlich nach jener Seite gewendet, welche der Erde entgegengesetzt ist. Dann sieht man ihn zuweilen wie einen schwarzen Punkt auf der Sonnenscheibe. Diese Durchgänge erleichtern die Beobachtung der untern Conjunktionen, und die Astronomen bedienen sich ihrer, um zu einer genauern Kenntniß aller Umstände zu gelangen,

welche bei der Bewegung des Planeten zusammentreffen; was die obern Conjunktionen anbetrifft, so ist ihre Beobachtung fast unmöglich.

Auf diese Art, und nachdem eine große Anzahl der Umläufe des Merkur das Studium desselben förderte, ist man endlich zu der Gewißheit gelangt, daß die Bahn dieses Planeten eine Ellipse sei, deren einen Brennpunkt die Sonne einnimmt. Die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne bildet ungefähr $^2/_5$ des Abstandes der Erde von der Sonne, die Excentricität seiner Bahn übertrifft jene aller andern Bahnen der auch den Alten bekannt gewesenen Planeten, sie ist gleich 0,2055141 des mittlern Abstandes des Planeten von der Sonne; die Ebene welche ihn einschließt, ist 7° zur Ekliptik geneigt; endlich beträgt auch die ganze Umlaufszeit dieses Planeten nur 87 T. 32 St. 14′ 34″.

Man war begierig zu erfahren, ob dieser Planet, wie die Erde, Sonne und Mond eine drehende Bewegung um sich selbst habe? Aber die Lösung dieser Frage scheiterte an der Nähe der Sonnenstrahlen, die eine solche Beobachtung sehr erschweren. Doch will man bemerkt haben, daß zuweilen eine Spitze seiner Lichtsichel fehlte, was die Existenz von hohen Gebirgen auf seiner Oberfläche anzudeuten scheint, wie wir dies bereits, als vom Monde gehandelt wurde, unsern Lesern erklärten. Das Intervall von dem ersten Verschwinden der Sichelspitze bis zum andern Male würde in diesem Falle die Zeit anzeigen, welche das Gebirg bedarf, um zu derselben Position zurückzukehren; und auf diese Art hat man erkannt, daß die Umlaufszeit des Merkur um seinen Mittelpunkt beinahe 24 St. 5′ beträgt. Die Rotationsaxe macht mit der Ekliptik einen beträchtlichen Winkel.

Was die physische Beschaffenheit dieses Planeten anbetrifft, so scheint sie von der unserer Erde sehr

verschieden zu sein, denn befände sich die Erde in deselben Distanz von der Sonne, müßte der Ozean verdunsten und alle Metalle auf der Oberfläche der Erde flüssig werden. Merkur scheint in eine sehr dichte Atmosphäre gehüllt zu sein, die Beobachtung der Schatten, welche die Berge zu werfen scheinen, von denen seine Scheibe bedeckt ist, lehrt, daß sie, mit den Bergen der Erde verglichen, von enormer Größe sein müssen. Um eine Idee davon zu erhalten, muß man wissen, daß die Höhe des Chimborasso $^1/_{1017}$ des Erdhalbmessers beträgt, die Mondgebirge sind $^1/_{214}$ des Mondhalbmessers, die Gebirge des Merkur würden sich aber schon zu $^1/_{126}$ des Halbmessers dieses Planeten erheben. Diese Gebirge befinden sich auf der südlichen Halbkugel des Planeten, wie auf der Erde und der Venus ebenfalls. Merkur scheint nicht merklich abgeplattet zu sein, die Ebene seines Aequators macht einen beträchtlichen Winkel mit jener der Bahn. Die Folgen davon müssen große Verschiedenheiten in den Tages- und Jahreszeiten auf der Oberfläche dieses Planeten sein.

Dem unbewaffneten Auge ist es in unsern nördlichen Gegenden schwer, diesen Planeten zu bemerken, Delambre versichert, es sei ihm nur zweimal möglich gewesen, mit bloßem Auge ihn zu erkennen; und Kopernik, welcher die Tafeln des Merkur entworfen hat, konnte ihn nie zu Gesicht bekommen. Die Beobachtungen dieses Gestirns sind, sogar unter dem Beistand der Instrumente, wegen der ungemeinen Kleinheit des Merkurs, wegen seiner Entfernung von der Erde, und wegen der Nähe der Sonnenstrahlen, mit vielen Schwierigkeiten verknüpft.

Venus.

82. Nach Merkur ist die Venus, hinsichtlich der Distanzen der Planeten von der Sonne, ihr am nächsten. Dieses Gestirn ist das glänzendste am

Himmel. Man hat ihm mehre Namen gegeben, als: der Stern des Hirten, der Abendstern oder Hesper, weil man ihn Abends einige Augenblicke nach Sonnenuntergang wahrnimmt, und Morgenstern oder Lucifer, weil er vor der Morgensonne am Himmel erscheint.

Der Gang der Venus bietet uns dieselben Phänomene wie der des Merkurs, nur die Oscillationen auf beiden Seiten der Sonne sind ausgedehnter und ihre Dauer beträchtlicher. Beobachtet man die Venus einige Tage hintereinander, so sieht man alsbald nach ihrem Erscheinen im Westen nach Sonnenuntergang, wie sie sich zusehends von der Sonne entfernt, bis diese Entfernung gegen 40° 42′ beträgt, dann steht sie einen Augenblick still und scheint wieder zur Sonne zurückzukehren, taucht am Abend in ihren Strahlen unter, und nachdem sie einige Zeit unsichtbar gewesen, kömmt sie Morgens auf der andern Seite der Sonne zum Vorschein, welcher sie nur einige Augenblicke am Horizont vorausgeht; in den folgenden Tagen entfernt sie sich zusehends von ihr bis gegen 45° 42′, dann steht sie einen Moment still, kehrt hierauf wieder zur Sonne zurück, geht jeden folgenden Tag später auf, und verliert sich zuletzt in den Strahlen der Dämmerungssonne. Nachdem sie daselbst einige Tage verborgen geblieben, sieht man sie, wie das erste Mal gegen Westen in einiger Entfernung von der Sonne wieder erscheinen, und ihren gewohnten Lauf unter denselben Phänomenen wieder antreten. Diese Erscheinungen sind jene, welche die Bewegung eines Planeten darbieten muß, dessen Abstand von der Sonne geringer ist als jener der Erde von diesem Gestirn.

Die vollständige Dauer einer Oscillation oder der Rückkehr der Venus zu derselben Position in Beziehung zur Sonne, ist 584 Tage, ihre rechtwin-

keligen Entfernungen von der Sonne variiren von 45 bis 48°, die Rückläufigkeit beginnt, wenn sie Abends der Sonne sich nähernd, von ihr nur 29° entfernt ist; sie hört auf, wenn der Planet auf der andern Seite dieselbe Entfernung erreicht hat. Die mittlere Dauer der Rückläufigkeit ist 42°, der durchlaufene Bogen beträgt 15° 53′.

Venus kömmt in 584 Tagen zur Conjunktion, und nimmt in einer Zwischenzeit von 216° an Länge zu; nach fünf aufeinanderfolgenden Conjunktionen hat ihre Länge zugenommen gegen $5 \times 216° = 3 \times 360°$, d. h. dieselbe wie zu Anfang des Intervalls, welches ist 5×5584 T. $= 8 \times 365$ T. oder acht Jahre. Also in je acht Jahren entsprechen die Conjunktionen der Venus und der Sonne demselben Punkt des Himmels, und alle von ihrer respektiven Position abhängenden Phänomene müssen sich also in derselben Aufeinanderfolge reproduziren.

Die Phasen der Venus sind weit leichter zu bemerken, als jene des Merkur. Wenn sie Abends sich der Sonne nähert oder Morgens von ihr entfernt, so hat, mit dem Teleskop gesehen, ihre Scheibe die Sichelgestalt, die innere Seite dieser Halbmondsform ist stets gegen die Sonne gekehrt; in den folgenden Tagen ist die Sichel im Zunehmen begriffen; und wenn die Venus Morgens zur Sonne wieder zurückkehrt, ist ihre Scheibe kreisförmig erleuchtet, dann ist sie voll. Wenn sie Abends auf der andern Seite der Sonne zurückschreitet, schneidet sich der Kreis bogenförmig aus, und der erleuchtete Theil vermindert sich, je weiter sich der Planet von der Sonne entfernt, in denselben Abstufungen wie er zugenommen. Venus ist also, wie Merkur, ein dunkler Körper, der sein Licht von der Sonne borgt.

Die Beobachtung der scheinbaren Durchmesser der Venus zeigt, daß sie nicht stets in gleich weiter Entfernung von der Erde sich befindet, und ihre

Veränderungen stehen mit den Phänomenen ihrer Phasen in Verbindung, auf eine Weise, die vollkommen geeignet ist, über die Natur ihrer Bahn uns aufzuklären. Wenn die ganze Scheibe erleuchtet ist, hat ihr Durchmesser, welcher in demselben Verhältnisse sich verkleinerte, als die Scheibe sich abrundete, sein Minimum erreicht. Er ist auf 10″ reduzirt; und da die Durchmesser zu den Distanzen im umgekehrten Verhältnisse stehen, so befindet sich der Planet in seiner weitesten Entfernung von der Erde, er ist dann jenseits der Sonne in Beziehung zu uns, und erhält nun sein ganzes Licht von ihr; je mehr der erleuchtete Theil abnimmt, nimmt der scheinbare Durchmesser zu, und wenn Venus nach ihrer westlichen Ausschweifung Abends mit der Sonne sich wieder vereinigt und ihre Sichel kaum noch die Dünne eines Lichtfadens hat, tritt sie in die untere Conjunktion; ihr scheinbarer Durchmesser hat dann sein Maximum erreicht, er ist dann 24″, der Planet befindet sich der Erde am nächsten, und steht zwischen der Sonne und uns. Sieht man sie im Morgenhimmel einige Momente vor Sonnenaufgang wieder, verkleinert sich ihr Durchmesser und ihre Sichel versteckt sich, der Planet entfernt sich mehr und mehr von der Erde, bis er in die obere Conjunktion zurückgekommen ist. Also erfährt man durch die Vergleichung der scheinbaren Durchmesser mit den Phasen der Venus, daß sie um die Sonne eine Curve beschreibt, welche ihre Convexität der Erde zukehrt; diese Curve kömmt unserer Erde nicht zu nahe, denn wäre dies möglich, so könnte sie zuweilen zwischen Venus und die Sonne treten, dieser Planet würde sich dann in Opposition befinden, was aber nie statt hat; diese Curve ist nicht ganz auf der andern Seite der Sonne in Beziehung zu uns gelegen, weil, wie wir gesehen haben, Venus bei jedem ihrer Umläufe zwischen uns und die Sonne tritt. Alle diese Er=

scheinungen lassen sich daher nur auf zweierlei Weise erklären; die Sonne ist nothwendig der Mittelpunkt der Bewegung des Merkurs und der Venus, also muß von zwei Annahmen eine richtig sein, entweder die Sonne zieht in ihrem jährlichen Umkreise um die Erde, die Bahnen dieser beiden Gestirne mit sich, wie die Planeten ihre Satelliten mit sich fortziehen; oder es ist die Erde, welche um die Sonne kreist, indem sie die Ekliptik auf dieselbe Weise durchläuft wie Merkur und Venus in ihren Bahnen kreisen; die Richtung der Bewegung ist bei allen drei Planeten dieselbe, es gibt keine andere Verschiedenheit als in ihren Abständen von der Sonne, und der respektiven Geschwindigkeit. Die Analogie allein müßte uns bestimmen, die letztere Hypothese als die einfachere vorzuziehen. Wir haben im sechsten Kapitel die Ursachen angegeben, welche uns zu glauben veranlassen, daß das wirkliche Weltsystem jenes sei, welches die Sonne in Bezug zur Erde für unbeweglich gelten läßt, und was wir an einer frühern Stelle gesagt, zeigt, daß bei dieser Annahme die Unregelmäßigkeiten der Bewegungen der Venus, ihre Phasen, die Veränderungen ihrer Durchmesser, ihre Rückläufigkeiten u. s. w. sich auf die einfachste Weise erklären, und eine nothwendige Folge sind von der Vereinigung ihrer Geschwindigkeit in ihrer Bahn mit jener der Erde in der Ekliptik. Folgern wir also daraus, daß Venus, wie Merkur, ein unterer Planet in Beziehung zur Erde sei, und daß diese drei Planeten in ungleichen Abständen von der Sonne sich bewegen, aber doch in derselben Richtung, weil die Sonne ihnen ihr Licht gibt, und doch im Mittelpunkte ihrer Bewegungen selber unbeweglich bleibt.

Die Beobachtung des Ganges der Venus während einer großen Anzahl von Umläufen, hat erkennen lassen, daß ihre Bahn nicht ganz kreisförmig

sei. Sie ist eine Ellipse, aber weit weniger excentrisch als jene des Merkur; die Veränderungen der Breite zeigen, daß die sie einschließende Ebene mit der Ekliptik einen beträchtlichen Winkel bildet. Der mittlere Abstand der Venus von der Sonne ist gleich 0,723 des mittlern Abstandes der Erde von diesem Gestirn, die Excentricität ist der 0,006855ste Theil ihrer Länge; die Neigung ihrer Ebene zur Ekliptik ist 3° 23′ 35″, die Länge des aufsteigenden Knotens 74° 52′ 40″, die vollständige Umlaufszeit beträgt 224 T. 16 St. 42′ 29.″

Venus glänzt zuweilen in so hellem Scheine, daß sie selbst am hellen Tage dem bloßen Auge sichtbar ist. Dieses Phänomen hängt lediglich von der Position ab, welche dieser Planet in Bezug zur Sonne und zur Erde einnimmt. Es findet nur statt, wenn die Venus im ersten oder letzten Viertel ist; wenn sie voll, so befindet sie sich ganz nahe den Sonnenstrahlen, und von uns zu entfernt, um nicht dadurch an ihrem Glanze einzubüßen. Die Zwischenzeit von der ersten bis zur zweiten Wiederkehr der Venus zu dieser Position beträgt 584 Tage, die Umstände, welche es ermöglichen, daß die Venus am hellen Tage gesehen werde, wiederholen sich oft genug, aber der Glanz ihres Lichts erreicht sein Maximum nur einmal in acht Jahren. Wir haben auch wirklich gesehen, daß in dieser Zwischenzeit Venus zu derselben Position in Bezug zur Sonne zurückkehrt.

83. Die Beobachtungen der Venus bieten ein Phänomen dar, das wegen der kostbaren Erfahrungen, welche die Astronomen in Bezug auf die Beschaffenheit des Sonnensystems ihm verdanken, unsere ganze Aufmerksamkeit verdient. Zuweilen bildet die Venus, indem sie vor der Sonnenscheibe hervorragt, einen Fleck daselbst, welcher eine Seite dieser Scheibe beschreibt. Wir haben schon bei dem

Durchgang des Merkurs dasselbe Phänomen gesehen, und daraus geschlossen, daß dieser Planet ein dunkler Körper sei, der näher der Sonne sei als die Erde, weil er sich zwischen uns und die Sonne drängt. Dieselben Schlüsse geziemen auch bei der Venus, aber ihre größere Entfernung von der Sonne, und die Erleichterungen, welche daraus für den Beobachter dieses Phänomens erfolgen, gestatten noch wichtigere daraus abzuleiten. Die Dauer des Durchgangs der Venus vor der Sonnenscheibe ist für zwei Beobachter, die an verschiedenen Orten der Erde wohnen, nicht dieselbe, aus demselben Grunde, welcher die Dauer einer Sonnenfinsterniß in verschieden gelegenen Gegenden der Erde von ungleicher Länge finden läßt. Da der Planet uns viel näher als die Sonne, so erfolgt wirklich daraus, daß der Beobachter ihn an verschiedenen Stellen der Sonnenscheibe aufzeichnet, je nach der Position, welche der Beobachter auf der Erde einnimmt, so daß er ihm mehr oder minder lange Corden vor dieser Scheibe, im Verhältniß zur Entfernung vom Mittelpunkt, zu beschreiben scheint. Die Verschiedenheiten in der Zeit, welche die Venus bedarf, um sie zu durchlaufen, sind merklich genug, um auf eine genaue Beobachtung Anspruch zu machen. Daraus erzielt man ein sehr sicheres Mittel, um die Distanz des Planeten von der Erde, und selbst jene der Sonne zu bestimmen, was der Beobachtung dieser Durchgänge für die Astronomie eine große Wichtigkeit verschafft. Will man sich von dieser Methode einen richtigen Begriff machen, so muß man vor allem beachten, daß die Durchgangszeiten dieselben sein würden, wenn alle Beobachter sich im Mittelpunkte der Erde befänden. Nun gibt die Trigonometrie das Mittel an die Hand, die an irgend einem beliebigen Orte der Erde gemachte Beobachtung mit diesem Punkt in Beziehung zu bringen, sobald als

die Distanz des Gestirns von der Erde, oder seine Parallaxe, d. h. der Winkel, unter welchem von dem Mittelpunkt des Gestirns aus der Erdhalbmesser gesehen würde, als bekannt angenommen wären. Wir begreifen also, daß, wenn die Durchgangszeiten an zwei verschiedenen Orten der Erde beobachtet wurden, die Durchgangszeit, die für den Mittelpunkt der Erde daraus geschlossen werden möchte, nicht verschieden ist. Man setze folglich für die Parallaxe der Venus einen beliebigen Werth an, und nach diesem Werthe bringe man die beiden beobachteten Durchgangszeiten zum Mittelpunkte der Erde in Beziehung. Wenn die daraus abgeleiteten Resultate zusammenstimmen, so kömmt es daher, weil der Werth der gewählten Parallaxe genau angegeben ist. Findet sich aber eine Differenz vor, so zeigt sie an, daß man in der Annahme geirrt, und beginnt man die Rechnung nochmals mit einer neuen Parallaxe, so wird man nach einigen Versuchen den wirklichen Werth bestimmen können.

Der letzte Durchgang der Venus vor der Sonnenscheibe fand 1769 statt. Da Halley auf seine Wichtigkeit aufmerksam gemacht hatte, so versetzten sich die Astronomen im voraus an verschiedene Orte der Erde, um ihm in seinen für die Beobachtung günstigsten Positionen folgen zu können. Die Differenz der Durchgangszeit, die man zu Otahaiti im Südmeer, und zu Cajaneburg im schwedischen Lappland beobachtete, überstieg 15″; daraus schloß man die Parallaxe der Venus auf 31″,0033, jene der Sonne in ihrer mittlern Entfernung von der Erde auf 8″,5776.* Wenn die Parallaxe eines Gestirns

* Die Parallaxe der Venus läßt uns jene der Sonne wissen. Wirklich sind die Parallaxen beider Gestirne unter sich im umgekehrten Verhältniß ihrer Distanzen von der Erde. Nennen wir D und D′ die respektiven Distanzen der Erde und der Venus von der Sonne, P die Parallaxe dieses Gestirns, P′ jene der Venus, so hat man die Proportion:

bekannt ist, so ist es leicht, daraus die Distanz der Erde zu deduciren. Nennt man P die Parallaxe, D diese Distanz und R den Halbmesser der Erde, so hat man die Proportion 1 : sin. P :: D : R, wovon man abzieht:

$$D = \frac{R}{\sin. P}.$$

Nimmt man nun den Erdhalbmesser zu 1500 Meilen an, und macht P = 8″,5776 für die Sonne, und P = 31″,0033 für die Venus, wird man für die respektiven Distanzen der Sonne und der Venus von der Erde 35976425 und 9980554 Meilen finden, das Verhältniß 0,27668 beider Zahlen drückt folglich die Distanz der Venus von der Erde aus, wenn jene der Sonne 1 ist, also ist dieser Planet ungefähr viermal näher der Erde als die Sonne. Nun ist es leicht, die Distanz aller Planeten von der Sonne zu erfahren, denn wir werden in der Folge sehen, daß zwischen diesen Distanzen und den Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne eine allgemeine Verwandtschaft stattfindet, welche die relativen Distanzen gibt, sobald die Umläufe gekannt sind. Man braucht also nur eine dieser Distanzen zu wissen, um daraus auch die übrigen zu deduciren.

$P : P' :: D - D' : D$, wovon $P = P'\left(1 - \frac{D'}{D}\right)$ das Verhältniß $\frac{D'}{D}$ der Distanzen der Erde und der Venus von der Sonne ist durch die Gesetze ihrer Bewegungen gegeben, man wird den Werth von P haben, wenn jener von P′ gekannt ist. Nimmt man als Einheit die mittlere Distanz der Erde von der Sonne, so hat man D′ = 0,72333228, woraus man schließt, die Parallaxe der Sonne sei gleich 8″,5776. Dieser Werth resultirt aus der an letzterm Orte von Enke vorgenommenen Revision der Berechnung der Beobachtungen des Durchgangs der Venus vor der Sonnenscheibe im Jahre 1769. Delambre nahm die Parallaxe der Sonne auf 8″,7 an, und diese Abschätzung hat den Beifall der meisten Astronomen erhalten.

Wenn die Parallaxe der Venus ist 31″,003, so wird der Halbmesser der Erde zu der Distanz 0,27668 die Sehne eines Winkels von 31″,0 haben, der Halbmesser der Venus zu derselben Distanz erscheint 30″,4, also differiren diese beiden Planeten nur sehr wenig in ihrem Volumen.

Die Durchgänge der Venus bieten, wie man sieht, wegen der Leichtigkeit sie zu beobachten, für die Astronomie eine werthvolle Erscheinung; leider zeigt sich diese Gelegenheit so sparsam. Wenn die Venus in der Bahn der Ekliptik in Bewegung wäre, so würde das Phänomen des Durchgangs dieses Planeten auf der Sonnenscheibe sich bei jedem Umlauf erneuern, allein da die Bahn der Venus zur Ekliptik 23° 23′ 35″ geneigt ist, so kann der Durchgang für den Beobachter auf der Erde nur dann statt haben, wenn die Mittelpunkte der Venus und der Sonne für ihn ziemlich auf derselben Linie situirt sind, d. h. wenn dieser Planet die Ekliptik in dem Moment durchschneidet, wo die Sonne in einer den Knoten des Planeten benachbarten Position sich befindet. Wir haben gesehen, daß Venus alle acht Jahre zu derselben siderischen Position in Bezug zur Sonne wieder zurückkehrte. Wenn also ein Durchgang zu einer gewissen Epoche stattfand, so darf man mit Sicherheit nach acht Jahren wieder einen erwarten, aber nach einem neuen Intervall von acht Jahren. Da die Breite, welche seit der ersten Epoche stets zugenommen, sehr groß geworden sein muß, so erreicht die Scheibe des Planeten nicht mehr die Sonnenscheibe, es gibt eine untere Conjunktion ohne Bedeckung oder Nebeneinanderliegen der beiden Gestirne, daß man folglich nie drei Durchgänge in ihrer Aufeinanderfolge beobachten kann; nach zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen muß man 113 Jahre warten, bis ein neuer der Beobachtung sich darbietet. Die Periode,

welche diese Phänomene wieder herbeiführt, ist 113 ± 8 Jahre; der letzte Durchgang der Venus erfolgte im Jahre 1769, also werden die nächsten Durchgänge 1874 und 1882 * statt haben. Die Knoten der Venus sind situirt bei 75° und 225° der Länge, also wenn die Sonne die gleichen Längen hat, d. h. in den Monaten Juni und Dezember. Um diese Zeit finden auch diese Durchgänge gewöhnlich statt. Da die Länge der Knoten des Merkur 46° und 226° beträgt, so müssen die Durchgänge des Merkur im Mai und November sich beobachten lassen.

84. Die Beobachtung einiger Flecken auf der Oberfläche der Venus ließ erkennen, daß dieser Planet eine drehende Bewegung habe; er dreht sich um sich selbst in 23 St. 21′ 19″, d. h. in einem Intervall von beinahe einem Erdentage. Die Drehungsaxe bleibt bei allen Bewegungen des Planeten stets parallel von ihm, und die Ebene des Aequators, welcher senkrecht von ihm ist, macht mit der Ekliptik einen Winkel von ungefähr 75°. Die Abplattung der Venus ist unwahrnehmbar; man bemerkt auf ihrer Oberfläche Gebirge, die, mit jenen der Erde verglichen, sehr hoch genannt werden dürfen, aber immer noch nicht so hoch wie jene im Merkur.

Wir haben gesehen, daß das Verhältniß der Höhe der Gebirge zum Halbmesser des Planeten ein $^1/_{1017}$ für die Erde, ein $^1/_{214}$ für den Mond, ein $^1/_{126}$ für den Merkur war. Für die Venus gibt es der deutsche Astronom Schröter auf $^1/_{144}$ an. Demnach wären die Gebirge der Venus siebenmal höher als jene der Erde. Man hat berechnet, daß die Wärme

* Der erste Durchgang wurde am 4. Dezember 1639 beobachtet, der zweite am 5. Juni 1761, der dritte am 3. Juni 1769. Der vierte wird am 8. Dezember 1874 erwartet, der fünfte am 6. Dezember 1882, die nächstfolgenden am 7. Juni 2004 und 5. Juni 2014.

und das Licht auf der Oberfläche der Venus zweimal so groß sein mögen als auf der Erde, schon weil jener Planet der Sonne viel näher ist als wir. Aber man hat vergessen, daß er eine viel dichtere Atmosphäre hat, die zweifelsohne den Sonnenstrahlen einen guten Theil ihrer Kraft benimmt.

Wie wir gesehen haben, findet zwischen der Venus und der Erde hinsichtlich der Gestalt und Größe einige Aehnlichkeit statt; aber die bedeutende Neigung des Aequators zur Ekliptik muß den Bewohnern jenes Planeten die Ungleichheiten der Tages- und Jahreszeiten weit mehr bemerkbar machen. Die Erscheinungen, welche ihnen die andern Himmelskörper bieten, werden so ziemlich dieselben sein wie bei uns. Merkur und die Erde erblicken sie in analogen Lagen wie wir Venus und Mars.

Obere Planeten.

Mars.

85. Der Gang der beiden Planeten Merkur und Venus hat uns mehre Analogien geboten. Sie entfernen sich nie in bedeutenden Abständen von der Sonne, daher sie wie Satelliten derselben erscheinen. Mars und die andern obern Planeten entfernen sich hingegen von der Sonne in allen rechtwinkeligen Distanzen; woraus folgt, daß Merkur und Venus zu gewissen Stunden beinahe gleichzeitig mit der Sonne auf- und untergehen, die obern aber bleiben die ganze Nacht am Horizont, und ihr Eintritt in den Meridian variirt von Mitternacht bis auf 12 Stunden Intervall.

Das Licht des Mars ist nicht so hell als jenes der Venus, und wird an seinem röthlichen Schein sogleich erkannt. Beobachtet man diesen Planeten, wenn er aus der Conjunktion herauskommt, d. h. wenn er Morgens aus den Sonnenstrahlen, die

ihn einige Zeit unsichtbar machten, sich herauszuarbeiten strebt, so wird man ihn in den folgenden Tagen mehr und mehr der Sonne voraus eilen sehen, so daß er auch weit früher in den Meridian eintritt. Seine Bewegung ist rechtläufig, d. h. von West nach Ost wie die der Sonne. Da aber die eigene Bewegung der Sonne viel schneller ist als jene des Mars, so vermehrt sich ihre Distanz von einander, obgleich sie dieselbe Richtung nehmen, doch sehr bedeutend. Später bewegt der Planet sich wieder langsamer und wird Null 136° 48′ von der Sonne. Dann steht er einige Tage still, hierauf nimmt er eine rückläufige Bewegung an, d. h. von Ost nach West, seine Geschwindigkeit nimmt zu, und da die Sonne ihren rechtläufigen Gang fortsetzt, so entfernen sich beide von einander ungemein schnell, bis zu dem Moment, wo ihre rechtwinklige Distanz 180° beträgt, sie sind nun in Opposition in Beziehung zur Erde. Der Planet geht dann auf, wenn die Sonne untergeht, aber seine Geschwindigkeit nimmt zusehends ab und wird Null, wenn er, sich der Sonne wieder nähernd, nur noch 136° 48′ von ihr entfernt ist. Er steht dann einige Tage still, wird wieder rechtläufig, kömmt der Sonne immer näher, bis er sich endlich in Conjunktion mit ihr befindet, und nachdem ihre Strahlen ihn einige Tage unsichtbar gemacht, erscheint er Morgens wieder, um einen neuen Lauf anzutreten.

Die Bewegung des Mars ist 73 Tage rückläufig, und der Bogen der Rückläufigkeit beträgt ungefähr 16°. Die siderische Umlaufszeit ist 686° 98′, die synodische Umlaufszeit oder die Zwischenzeit der Wiederkehr zu derselben Position im Verhältniß zur Sonne, 780 Tage. Diese verschiedenen Phänomene wiederholen sich bei jedem Umlauf in derselben Ordnung, nur gibt es beträchtliche Abweichungen in der Dauer und Ausdehnung der rückläufigen Bewegungen.

Die Erscheinungen, welche die Beobachtung des Mars darbietet, lassen sich leicht erklären, weil sie aus der Vereinigung seiner eigenen Bewegung und jener der Erde in ihren respektiven Bahnen erfolgen, wenn, wie wir annehmen, die Distanz dieses Planeten von der Sonne größer ist, als jene der Erde von diesem Gestirn. Wirklich haben wir gesehen, daß die obern Planeten, vor und nach der Opposition einen Moment still zu stehen scheinen, zwischen beiden Stationen ist ihre Bewegung rückläufig, und in der übrigen Zeit ihres Laufes rechtläufig. Dauer und Ausdehnung der rückläufigen Bewegungen wechselt bei den verschiedenen Planeten.

Die Phasen des Mars sind nicht merklicher als jene der Venus und des Merkur, was anzuzeigen scheint, daß seine Distanz von der Sonne viel größer ist. In der That, wären die Planeten von uns und der Sonne unbestimmt entfernt, so würden sie uns keine Phasen zeigen, und wir würden stets ihre erleuchtete Scheibe zu sehen bekommen, weil wir sie so zu sehen bekämen, als beobachteten wir sie von der Sonne aus. Die Phasen eines Planeten werden also um so weniger merkbar sein, je größer seine Distanz von der Sonne, in Beziehung zu jener der Erde von diesem Gestirn ist. Dennoch bemerkt man mit Hülfe großer Teleskope, daß die Scheibe des Mars nicht immer die Kreisform behält, sie wird in gewissen Positionen des Planeten in Beziehung zur Sonne etwas oval, was genügt, um zu beweisen, daß, gleich den andern Planeten, auch Mars sein Licht von der Sonne empfängt.

86. Die wesentlichen Veränderungen seiner scheinbaren Durchmesser zeigen, daß die Distanzen des Mars von der Erde bedeutenden Alterationen unterworfen sind. Der scheinbare Durchmesser ist in seinem Maximum in den Oppositionen, wo er sich bis zu 19″ erheben kann. Mars ist dann in seiner

größten Nähe von der Erde; in den Conjunctionen ist der Durchmesser nur 4″, und Mars ist uns dann am entferntesten. In den mittlern Entfernungen ist der scheinbare Durchmesser 6″,29. Da das Verhältniß der Distanzen zu jenem der Durchmesser umgekehrt ist, so sind die Distanzen des Mars von der Erde in den Oppositionen und Conjunktionen unter sich wie 19:4 oder wie 5:1, d. h. daß in den Conjunktionen Mars fünfmal so weit von uns entfernt ist als in den Oppositionen. Diese Ungleichheit in den Distanzen scheint unerklärbar, wofern man annimmt, daß Mars um die Erde sich bewege; allein es ist nichts Außerordentliches daran, wenn man die Bewegungen des Mars zum Mittelpunkte der Sonne in Beziehung bringt, weil in der That sein Abstand von diesem Gestirn viel größer ist als jener der Erde. Die Verschiedenheiten CB und CD (Fig. 62) seiner Distanzen von der Erde in den Conjunktionen und Oppositionen müssen also das Doppelte der Distanz AC der Erde von der Sonne, oder der ganze Durchmesser CE der Ekliptik sein. In den Oppositionen ist die Proximität des Planeten groß genug, um seine Parallaxe bemerkbar zu machen, so daß sie durch solche Mittel, welche denjenigen analog sind, die man in Anwendung brachte, als man die Parallaxe des Mondes erfahren wollte, bestimmt werden kann. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne ist, wie wir in der Folge sehen werden, 1,52; da jener der Erde 1 ist, so wird der Abstand des Mars von der Erde in der Opposition 0,52 sein, d. h. ziemlich die Hälfte des Abstandes der Sonne. Da das Verhältniß der Parallaxen das umgekehrte der Distanzen ist, so folgt daraus, daß seine Parallaxe beinahe das Doppelte von jener der Sonne betragen wird. Die Oppositionen des Mars sind demnach, wie die Durchgänge der Venus überaus geeignete Phäno-

mene um dieses wichtige Element von der Theorie der Planeten bestimmen zu können. Wir sehen auch, daß Cassini und Lacaille sich dessen zu diesem Zwecke bedienten, bevor man noch den letzten Durchgang der Venus beobachtet hatte. Sie hatten also gefunden, daß die Parallaxe der Sonne 9 bis 10″ sein müsse, was sich nicht sehr weit von dem wirklichen fixirten Werth von ungefähr 8″,6 entfernt; allein die Beobachtungen der Durchgänge der Venus sind für diese Bestimmung vorzuziehen, weil wegen der viel größern Parallaxe die Wirkungen mehr ins Auge fallen, außerdem auch das Verhältniß dieser Parallaxe zu jener der Sonne viel beträchtlicher ist, folglich auch die Irrthümer der Beobachtung auf die genaue Angabe dieses letztern Werthes keinen so großen Einfluß äußern können.

Mars bewegt sich nicht in der Ebene der Ekliptik, er entfernt sich von ihr mehre Minuten, weil die Ebene seiner Bahn gegen die erstere Ebene 1° 51′ geneigt ist. Die Länge des aufsteigenden Knotens ist 48° 0′. Der mittlere Abstand von der Sonne, welcher sich von der siderischen Umlaufszeit durch dasselbe Gesetz, wie jene der Venus und des Merkur herleiten läßt, beträgt 1,52 des mittlern Abstandes der Erde von diesem Gestirne. Die Excentricität der Marsbahn ist beträchtlich, und wird auf 0,0933 der halben kleinen Axe angegeben.

87. Man bemerkt auf der Oberfläche des Mars Flecken von bedeutender Ausdehnung, man beobachtet daselbst auch Fäden oder Streifen, welche während einiger Monate sich zeigen und verschwinden, was auf die Vermuthung leitete, daß dieser Planet eine besondere Beschaffenheit habe, weil er so häufigen Veränderungen unterworfen sei, die aber zugleich beträchtlich genug sein müssen, da sie in so weiter Entfernung bemerkt werden können. Wie dem auch sei, die Beobachtung dieser Flecken hat

erkennen lassen, daß Mars sich in 24 St. 39′ 21″ um sich selbst drehe, in der Richtung von West nach Ost, d. h. in derselben Richtung und ziemlich in demselben Zeitmaaß wie die Erde.

Die Rotationsaxe ist 59° 24′ zur Ekliptik geneigt, und ihr Aequator macht mit der Ebene der Bahn einen Winkel von 28° 42′; der Wechsel der Jahreszeiten ist hier ziemlich derselbe, wie auf der Erde, weil die Schiefe der Ekliptik für uns gegen 23° 30′ beträgt. Mars scheint mit einer dichten Atmosphäre umgeben zu sein. Man bemerkt abwechselnd in der Nähe seiner beiden Pole weißliche Strecken, je nachdem diese oder jene Hemisphäre von der Sonne erleuchtet ist; man hat vermuthet, daß diese Flecken von Schnee und Eismassen herrühren, die sich in den hier herrschenden langen Wintern aufhäufen mögen. Der Durchmesser des Mars beträgt, mit jenem der Erde verglichen, 0,517. Die Volumina dieser beiden für sphärisch gehaltenen Körper verhalten sich gegen einander, wie die Kubus ihrer Durchmesser, oder wie $(0{,}517)^3 : 1$, oder ziemlich in dem Verhältniß von 1 : 7. Das Volumen des Mars beträgt also ungefähr den siebenten Theil des Volumens unserer Erde. Seine Abplattung ist unbeträchtlich; demungeachtet scheint sein Durchmesser nach der Seite der Pole zu kleiner zu sein als jener des Aequators. Diese beiden Durchmesser sind, nach Arago, in dem Verhältniß von 189 zu 194.

Jupiter.

88. Jupiter ist nach Venus der hellglänzendste aller Planeten, ja sein Glanz übertrifft zuweilen noch den ihrigen. Sein Massengehalt, sein Umfang, sein Einfluß auf die andern Körper des Sonnensystems, der Nutzen, welchen seine vier Trabanten für uns haben mögen, haben die Aufmerksamkeit

der Astronomen in einem besondern Grade ihm zugewendet.

Der Gang dieses Planeten bietet bei jeder synodischen Umwälzung Phänomene, die jenen des Mars ganz analog sind. Wenn er von der Conjunktion ausgeht, d. h. in dem Moment, wo er mit der Sonne zugleich aufgeht, entfernt er sich von ihr durch eine eigene Bewegung von West nach Ost, die aber nach und nach langsamer wird, bis endlich in einer Entfernung von beinahe 115° von der Sonne er einige Augenblicke still zu stehen scheint, die rechtläufige Bewegung wird dann rückläufig, die Geschwindigkeit derselben nimmt zusehends zu, bis endlich der Planet sich mit der Sonne in Opposition befindet. Die Bewegung vermindert sich sodann nach und nach, wird Null, scheint einen Augenblick ganz aufzuhören, und wird mit der Annäherung zur Sonne, sobald er nicht mehr als 115° Distanz von ihr entfernt ist, wieder rechtläufig.

Also Jupiter ist vor und nach der Opposition rechtläufig, die beiden Punkte, wo die Rückläufigkeit anfängt und aufhört, sind auf beiden Seiten von der Sonne durch eine Distanz von 115° entfernt. Diese Erscheinungen sind ganz gleich jenen, welche für uns die Folge von der Bewegung der Erde in Bezug zu einem obern Planeten sein müssen.

Dauer und Ausdehnung der Rückläufigkeiten sind um so geringer, je entfernter der Planet von uns ist. Die Elliptizität der Planetenbahnen muß also für denselben Planeten Veränderungen in diesen Phänomenen hervorbringen, weil die Oppositionen jedesmal an verschiedenen Punkten der Bahn statt haben. Die Dauer der rückläufigen Bewegung ist für Jupiter 121 Tage, und der Bogen der Rückläufigkeit 9° 54′, allein Zeit und Ausdehnung der verschiedenen Rückläufigkeiten wechseln bei jedem seiner Umläufe.

Die eigene Bewegung des Jupiter ist sehr langsam. Seine siderische Umlaufszeit umfaßt 4332,584 T. In diesem Zeitraum hat Jupiter den ganzen Thierkreis durchlaufen, was in 12 Tagen 1° und in einem Jahre 30° 20′ 32″ macht. Seine synodische Umlaufszeit umfaßt 398,867 T.; das ist die Zwischenzeit zwischen zwei seiner Conjunktionen. Also befindet sich Jupiter nach Verlauf eines Jahres wieder in derselben Position in Anbetracht der Sonne, aber seine Länge nimmt um 30° zu; er ging von einem Sternbild zum andern in östlicher Richtung, und nach 12 Jahren konnte man zwölf verschiedene Oppositionen in jedem der Sternbilder beobachten.

Jupiter entfernt sich wenig von der Ebene der Ekliptik, was anzuzeigen scheint, daß die Neigung seiner Bahn zu dieser Ebene sehr unbeträchtlich ist. In der That findet man, daß diese Neigung ist 1° 18′ 52″,3; die Länge des aufsteigenden Knotens 98° 25′ 34″; das Verhältniß der Excentricität zur halben kleinen Axe 0,04818; nimmt man endlich als Einheit die mittlere Distanz der Sonne von der Erde, so wird die mittlere Distanz Jupiters zur Sonne, aus seiner Umlaufszeit geschlossen, 5,2028 oder ungefähr 190 Millionen Meilen betragen.

Jupiter ist also fünfmal so weit von der Sonne entfernt als wir, seine Bahn schließt jene des Mars ein, folglich auch jene der Erde der Venus und des Merkur. Für einen auf seiner Oberfläche postirten Beobachter müssen diese Planeten beinahe unsichtbar sein, oder wenn er sie bemerkt, müssen sie wie sehr kleine Gestirne erscheinen, welche auf beiden Seiten der Sonne oscilliren, indem sie kleine Abschweifungen machen.

Die Phasen des Jupiter sind, wegen seiner Entfernung von der Sonne wenig bemerkbar. Nach dem, was bei dem Mars gesagt worden, werden die Phasen weniger sichtbar sein, je größer die Di-

stanz von der Sonne, so daß sie für Saturn und Uranus beinahe Null sind. Allein wir werden sehen, daß es für Jupiter, wie für diese Planeten, ein gewisses Mittel gibt, wodurch wir uns überzeugen können, daß diese Himmelskörper kein eigenes Licht haben.

Mit dem Teleskop gesehen, hat Jupiter die Gestalt einer abgeplatteten Scheibe. Sein scheinbarer Durchmesser wechselt mit den Distanzen. In den Oppositionen, wo er in seinem Maximum ist, kann er sich zu 46″,7 erheben, in den Conjunktionen ist er es zuweilen zu 30″. In den mittlern Entfernungen des Planeten von der Erde ist er 36″,75; der scheinbare Durchmesser der Erde in derselben Entfernung würde nur 3″,38 sein; vorausgesetzt, daß Jupiter und die Erde zwei sphärische Kugeln sind, so werden ihre Volumina unter sich sein wie die Cubus dieser Zahlen, oder beinahe in dem Verhältniß von 3627,7 bis 3, folglich ist das Volumen des Jupiter 1209mal größer als jenes unserer Erde. Man kann von seiner Größe sich einen noch richtigern Begriff machen, wenn man erwägt, daß Jupiter allein mehr Volumen besitzt als alle andern Planeten unseres Sonnensystems zusammen.

89. Man bemerkt auf der Oberfläche des Jupiter mehre dunkle Streifen, welche eine konstante Richtung haben, sie sind fast alle parallel von der Ekliptik. Man gewahrt auch Flecken, durch deren Beobachtung man es dahin gebracht hat, seine Rotation bestimmen zu können. Diese Bewegung ist von West nach Ost, ihre Dauer 9 St. 55′ 49″ folglich etwas weniger als einen halben Tag, die Axe, um welche dies bewirkt wird, ist 86° 54′ 30″ zur Ekliptik geneigt, d. h. fast senkrecht von dieser Ebene. Demungeachtet hat man schließen wollen, weil einige dieser Flecken und parallelen Streifen, welche die Scheibe des Jupiter durchkreuzen, oft sehr schnell ihre Gestalt

und ihre Stellung zu verändern schienen, zuweilen sogar ganz unsichtbar wurden, daß sie nicht mit der Oberfläche des Planeten zusammenhängen, und daß sie sie nur durchkreuzen, gleich den Wolken, welche der Wind in die Atmosphäre hintreibt, von welcher man den Jupiter eingehüllt glaubt.

Jupiter ist an den Polen merklich abgeplattet, das Verhältniß seines Durchmessers vom Aequator zur Axe der Pole ist, nach Arago, 177 bis 167. Das Verhältniß der Axen für die Erde 177 bis 176; die Abplattung des Jupiter ist also beträchtlicher als jene der Erde, was eine natürliche Folge von der Geschwindigkeit der Rotation ist, welche nach den Gesetzen der Centrifugalkraft die unter dem Aequator gelegenen Gegenden erheben, und die Polgegenden etwas senken sollte, und mit um so größerer Energie als jene Bewegung rascher ist.

Die Rotationsaxe des Jupiter ist beinahe senkrecht von der Ekliptik, und ihre Bahn macht nur einen sehr kleinen Winkel mit dieser letztern Ebene; daraus folgt, daß die Sonne sich nur wenig vom Aequator des Jupiter entfernt, die Temperatur ist demnach stets dieselbe auf der Oberfläche dieses Planeten, Tage und Nächte fast immer von gleicher Dauer, und ihre Ungleichheiten, wie jene der Jahreszeiten, ebenso unmerklich, wie auf dem Monde. Aber die Entfernung muß zweifelsohne zwischen der Beschaffenheit dieses Planeten und jener der Erde beträchtliche Verschiedenheiten herbeiführen. Die Sonnenscheibe, von der Oberfläche aus gesehen, würde 27mal kleiner erscheinen, als wir sie sehen, und das Licht, wie die Wärme, welche von ihren Strahlen ausgehen, müssen folglich 27mal schwächer als auf der Erdoberfläche sein.

Von den Monden des Jupiter.

90. Jupiter erscheint in der Begleitung vier klei-

ner Sterne, welche man selbst mit schwachen Instrumenten bemerken kann, und welche um ihn zu kreisen scheinen, wie der Mond um die Erde. Also sind ihre relative Position zum Planeten, und ihre wechselseitige Position einem beständigen Wechsel unterworfen. Man sieht sie zuweilen vor der Scheibe des Planeten durchgehen, und der Schatten, den sie hinter sich werfen, bildet einen dunklen Fleck, was beweist, daß Jupiter und seine Trabanten oder Monde dunkle Körper sind, welche, wie die andern Planeten, ihr Licht von der Sonne borgen. Die Bewegung der vier Satelliten nimmt dieselbe Richtung, wie jene der Planeten, d. h. von West nach Ost, man bemerkt aber, daß sie ungleiche Kreise beschreiben, und daß ihre Umlaufszeiten nicht gleich sind. Jene, deren Bahn die meiste Ausdehnung hat, ist zugleich diejenige, deren Umlauf am längsten dauert, was den allgemeinen Gesetzen der Bewegungen der Planeten um die Sonne conform ist.

Die vier Satelliten unterscheiden sich nicht durch ihre Distanz vom Mittelpunkt des Planeten, der erste ist ihm auch am nächsten, d. h. der Kreis, welchen er beschreibt, hat die kleinste Ausdehnung, auch ist seine Umlaufszeit die kürzeste; der vierte oder letzte Satellit beschreibt die größte Curve.

Die Satelliten verfinstern sich, wenn sie hinter dem Jupiter durchgehen und werden uns unsichtbar; oft verschwinden sie auch, wenn sie noch fern von der Scheibe des Planeten zu sein scheinen. Dann treten sie in den Schattenkegel, welchen der Planet hinter sich in Bezug zur Sonne bildet, so daß dieses Gestirn in den Mondfinsternissen verschwindet, indem es in den von der Erde gebildeten Schattenkegel eintritt. Die Trabanten verschwinden stets auf jener Seite der Scheibe des Planeten, welche der Sonne entgegesetzt ist. Wenn der Planet der Opposition nahe ist, verfinstern sie sich sehr nahe der

Scheibe, d. h. sie verschwinden, wenn der Gesichtsstrahl fast tangent vom Planeten ist. Endlich erkennt man auch, indem durch Berechnung die Zeit bestimmt wird, welche jeder Satellit braucht, um den Schattenkegel, den Jupiter vor sich wirft, zu durchschneiden, daß es genau jene seines Verschwindens ist, die von der Beobachtung gegeben ist. Ueber die eigentlichen Ursachen dieses Phänomens kann kein Zweifel obwalten.

Durch die Beobachtung der Eklipsen jener Satelliten bestimmt man ihre Umlaufszeiten und die Elemente ihrer Bahnen. Wirklich ist die Zwischenzeit, welche zwischen zwei aufeinanderfolgenden Eklipsen desselben Satelliten verfließt, beinahe jene, die er bedarf, um zu derselben Position seiner Bahn zurückzukehren. Wiederholt man die Beobachtungen der Eklipsen öfter, besonders wenn die Erde sich in derselben Position, bezüglich zum Jupiter, befindet, so wird man mit größter Präcision die Umlaufszeit eines jeden seiner Trabanten bestimmen können. Man hat also gefunden, daß der erste seinen Umlauf in 1 T. 18 St. 28′ 36″ vollendet, der zweite in 3 T. 13 St. 17′ 54″, der dritte in 7 T. 3 St. 59′ 36″, der vierte in 16 T. 18 St. 5′ 7″. Die drei erstern Monde kommen zu derselben relativen Situation alle 437 Tage zurück, der vierte allein braucht 33 St. 47′ mehr.

91. Vergleicht man die vorhergehenden Resultate mit einander, so sieht man, daß die Umlaufszeit des zweiten Satelliten fast die doppelte von jener des ersten beträgt, und daß die Umlaufszeit des dritten ungefähr die doppelte von jener des zweiten ist. So bilden nun die mittlern rechtwinkligen Bewegungen dieser drei Satelliten unter sich eine halbe Progression. Befolgten sie dieses Gesetz genau, so würde die mittlere Bewegung des ersten Satelliten zweimal der mittlern Bewegung des drit-

ten, und dreimal weniger jener des zweiten gleich sein. Die Beobachtung hat ferner gezeigt, daß, seitdem die Satelliten entdeckt sind, die mittlere Länge des ersten Satelliten über zweimal größer als jene des dritten, über dreimal kleiner als jene des zweiten, nie von zwei rechten Winkeln mehr als in einer fast unmerklichen Größe differirt hat. Dieselbe Verwandtschaft hat zwischen den mittlern Bewegungen und den mittlern synodischen Längen statt, d. h. in ihrer Beziehung zur Sonne.

Die beachtenswerthesten Verwandtschaftsverhältnisse, welche zwischen den Umlaufsbewegungen der Satelliten statt finden, haben zu einem eigenthümlichen Schluß geführt, nämlich, daß nicht alle vier zugleich sich verfinstern können, und daß immer einer am Horizonte des Jupiter bleibt, so daß kein Ort auf diesem Planeten jemals ganz ohne Licht ist.

Vergleichen wir die durch die Beobachtung gegebenen respektiven Positionen der Satelliten mit den Positionen, welche sie haben würden, wenn man sich ihre Bewegungen gleichförmig und ihre Bahnen kreisförmig dächte, so ist man überzeugt, daß diese Positionen beinahe coincidiren, und man hat daraus geschlossen, daß die Curven, welche sie beschreiben, sich wenig von der Kreisfigur entfernen. Die drei erstern Satelliten bewegen sich fast in der Ebene des Aequators des Planeten, die Neigung der Bahn des vierten Satelliten auf dieser Ebene ist beträchtlicher und kann sich auf 8° erheben, seine Excentricität übertrifft auch jene der drei andern Bahnen.

Da die Bewegung der Satelliten sich wenig von den Gesetzen der gleichförmigen Bewegung entfernt, so kann man leicht die Position der Satelliten, vom Mittelpunkt des Jupiter aus gesehen, bestimmen, und so nach den Tafeln ihrer Bewegungen die Zeit des Eintritts ihrer Eklipsen und ihre Dauer im

voraus bestimmen. Die Dauer einer Eklipse ist für den ersten Satelliten ungefähr 2 St. 15′, für den zweiten fast 2 St. 51′, für den dritten 3 St. 33′, für den vierten 4³/₄ St., da die Eklipsen des letztern viel länger anhalten als die des erstern. Diese Ungleichheit der Dauer der Eklipsen resultirt aus der Ungleichheit der Bewegungen der Satelliten, welche, wie man gesehen, um so schneller sind, je unbeträchtlicher die Distanz vom Mittelpunkt des Jupiter ist. Die Eklipsen erneuern sich für die drei erstern Satelliten bei jedem ihrer Umläufe, der vierte allein verfinstert sich nicht immer, wenn er hinter den Jupiter tritt. Seine Entfernung vom Mittelpunkt des Planeten und die Neigung seiner Bahn sind Ursache, daß er sich zuweilen zu weit entfernt befindet, um in den von den Sonnenstrahlen aufgefangenen Schattenkegel eintreten zu können.

Die Distanzen der Satelliten vom Mittelpunkt des Jupiter lassen sich, wie die Distanzen der Planeten von der Sonne, aus ihren Umlaufszeiten ermessen. Man kann sie auch durch direkte Beobachtung sehr genau bestimmen, indem man den Winkel der größten Entfernungen eines Satelliten mit dem Winkel vergleicht, unter welchem man den Halbmesser des Jupiter sieht, die Distanz des Satelliten vom Planeten findet sich also in Halbmessern des Jupiter ausgedrückt. Man hat auf diese Art für die mittlere Distanz des ersten Satelliten 5,70, für jene des zweiten 9,07, für jene des dritten 14,46, und für jene des vierten 25,44 gefunden, den Halbmesser des Jupiter als Einheit genommen.

92. Die Eklipsen der Satelliten haben den Astronomen, welche die Distanz des Jupiter von der Erde bestimmen wollten, ein um so kostbareres Verfahren geboten, da die Parallaxe des Jupiter, weil sie gänzlich unmerkbar ist, kein so direktes Mittel sein konnte. In der That, nehmen

wir an, daß man mit Sorgfalt Anfang und Ende der Eklipse eines Satelliten beobachtet hätte, gegen die Mitte der Zwischenzeit wäre dieses Gestirn, vom Mittelpunkt des Jupiter aus gesehen, fast in Opposition mit der Sonne, d. h. die Mittelpunkte des Satelliten, des Planeten und der Sonne befänden sich fast auf derselben Linie; dann wäre die siderische Position des Satelliten, vom Mittelpunkt des Jupiter aus gesehen, ausschließlich dieselbe wie jene des Jupiter vom Mittelpunkt der Sonne aus gesehen. Nun haben wir aber gesagt, daß man, nach den gekannten Bewegungen der Satelliten, in jedem Augenblick die Stelle angeben könne, welche sie bezüglich zum Mittelpunkt des Planeten im Himmel einnehmen können. Man wird folglich die siderische Position des Jupiter, vom Mittelpunkt der Sonne aus gesehen, für den Moment wissen, welcher der Mitte der Eklipse entspricht. Man kennt, zufolge den Sonnentafeln, die siderische Position der Erde, von demselben Punkte aus und in demselben Augenblicke gesehen. Man wird also den Winkel zur Sonne schließen können, welcher die rechtwinklige Distanz des Jupiter von der Erde, vom Mittelpunkt dieses Gestirns aus mißt.

Ist dies richtig, so verstehen wir ein geradliniges Dreieck TSJ, das durch die geraden Linien gebildet ist, welche die Mittelpunkte der Erde, der Sonne und des Jupiter verbinden; der Winkel T zur Erde ist die rechtwinklige Distanz des Jupiter von der Sonne, wie ihn die Beobachtung gegeben hat, S der Winkel zur Sonne, welcher die Distanz des Jupiter von der Erde, von der Sonne aus gesehen, mißt; dieser Winkel bestimmt sich, wie wir weiter oben gesagt, ST ist die Distanz der Erde von der Sonne, die man als bekannt voraussetzen darf; man wird also in dem Dreieck STJ zwei Winkel S und T und die adjacente Seite ST erkennen;

nun kann man die beiden andern Seiten SJ und JT in der Funktion von ST berechnen. Man wird also die Distanz des Jupiter von der Sonne und seine Distanz von der Erde, ausgedrückt in Theilen der Distanz der Erde von der Sonne, wissen. Mittelst dieser Berechnung findet man, daß Jupiter mindestens fünfmal weiter von uns entfernt ist als die Sonne, wenn sein scheinbarer Halbmesser 36″,75 beträgt, d. h. in seiner mittlern Distanz von der Erde. Die Vergleichung der scheinbaren Durchmesser hat gezeigt, daß das Volumen des Jupiter über tausendmal größer ist als jenes der Erde. Um daraus das Verhältniß der Massen zu erfahren, müßte die Dichtigkeit der beiden Körper gekannt sein, oder die Natur der Elemente, aus welchen sie bestehen. Wir werden in der Folge sehen, daß durch die Beobachtung der Jupitermonde man dahin gelangt, sehr präcis seine Masse bestimmen zu können, was für die theorische Astronomie von großer Wichtigkeit ist.

93. Obschon die Satelliten in den Ferngläsern uns wie Sterne sechster Größe vorkommen, die man mit dem bloßen Auge unterscheidet, so hat man sie doch nie ohne Hülfe der Instrumente bemerken können, was zweifelsohne in dem hellen Glanze des Planeten seinen Grund hat, von dem sie sich nicht weiter als einige Minuten entfernen. Man hat zuweilen bekannt gemacht, daß sie mit bloßem Auge gesehen worden seien, die Sache hat sich aber nie bestätigt, und ist vielleicht eine optische Täuschung gewesen.

Die Astronomen der Alten kannten diese Gestirne noch nicht; Galilei gebührt das Verdienst, mittelst der ersten guten Ferngläser, deren Erfinder er war, sie entdeckt zu haben. Er beobachtete nicht nur die verschiedenen Phänomene, die ihre Bewegungen darbieten, er sah auch vorher, von welchem

Nutzen sie für die Erdkunde und Schifffahrt sein werden, indem er sie zur Bestimmung der geographischen Längen anwandte. Man vergleiche nur den Moment, wo einer der vier Satelliten an dem Orte des Beobachters sich verfinstert, mit der Epoche derselben Beobachtung, welche in der „connaissance des temps" für Paris voraus berechnet wurde, so wird die nach Verhältniß von 15^c auf die Stunde reduzirte Differenz der Zeit die Differenz der Längen oder die Position des Meridians des Ortes, wo man ihn mit Beziehung zum Meridian von Paris beobachtet, erkennen lassen; und da die Eklipsen der Jupitermonde nicht selten sind, weil stets eine (wenigstens was die drei ersten Monde betrifft) bei jedem ihrer Umläufe vorkömmt, d. h. in Zwischenzeiten von 42,48 St. für den ersten, von 85,3 St. für den zweiten, und von 7,4 Tagen oder 17 Tagen für den dritten und vierten, so wird man an ihnen ein weit geeigneteres Mittel als an den Mondfinsternissen in dieser Beziehung haben, um die geographischen Längen bestimmen zu können.

94. Die Durchmesser der Satelliten entziehen sich, selbst wenn man im Besitze der besten Ferngläser ist, der Beobachtung. Man hat es versucht, ihren Umfang aus der Vergleichung der Zeit, die sie bedürfen, um in den Schattenkegel des Planeten einzudringen, zu deduciren, allein Beobachtungen dieser Art hängen zu sehr von fremdartigen Umständen ab, um sich hier auf sie verlassen zu können; und die von verschiedenen Astronomen erzielten Resultate haben stets bedeutende Differenzen auffinden lassen. Man hat zu erforschen versucht, ob die Satelliten, gleich den vornehmern Planeten, auch eine drehende Bewegung haben? Herschel, welcher sich mit dieser Aufgabe beschäftigte, hat durch Beobachtungen über die Intensität ihres Lichtes, erkannt, daß sie, die Scheibe des Planeten durch-

schneidend, sich um sich selbst drehen, mit einer Bewegung, deren Richtung und Dauer gleich ist mit der Umlaufsbewegung in seiner Bahn. Dieses Resultat wurde von dem italienischen Astronomen Meraldi bestätigt, welcher schon in Bezug auf den vierten Satelliten von der Wiederkehr desselben, vor seiner Scheibe beobachteten, Fleckens so geschlossen hatte. Daraus ist zu schließen, daß die Jupitermonde der Scheibe ihres Planeten stets dieselbe Hemisphäre zukehren, was eine neue Analogie zwischen diesen Gestirnen und dem Monde feststellen würde, welcher ja eine ähnliche Erscheinung darbietet, die derselben Ursache ihre Entstehung verdankt. Man dürfte demnach als ein allgemeines Gesetz für die Einrichtung des Planetensystems die vollkommene Gleichheit zwischen der drehenden Bewegung der Satelliten, und ihren Umlaufsbewegungen um die Planeten, deren Monde sie sind, zugeben.

Saturn

ist der von der Sonne am weitesten entfernte unter den schon im Alterthum bekannt gewesenen Planeten. Man bemerkt ihn auch mit bloßem Auge. Sein Licht ist matt und bleifarbig, wovon seine weite Entfernung die Ursache ist.

Sein Gang ist wie jener des Mars und Jupiter, er ist denselben Unregelmäßigkeiten unterworfen. Wenn Saturn von der Conjunktion ausgeht, wendet er sich von West nach Ost, bis er sich 109° 54′ von der Sonne befindet, dann scheint er einen Augenblick stille zu stehen, jetzt nimmt er eine rückläufige Bewegung an, bis er in Opposition mit der Sonne wieder 109° 54′ von ihr absteht, dann bewegt er sich wieder rechtläufig bis zur Conjunktion, und beginnt seinen nächsten Umlauf nach denselben Gesetzen. Alle diese Erscheinungen sind denjenigen

conform, welche die Bewegungen eines obern Planeten um die Sonne begleiten müssen. Die vollständige Dauer seiner Rückläufigkeit währt 137 Tage, und der durchlaufene Bogen beträgt 6° 48′, allein die Dauer und Ausdehnung der Rückläufigkeit wechseln mit jedem seiner Umläufe. Die Ursache davon haben wir bereits mitgetheilt als von Jupiter die Rede war.

Saturn bewegt sich ungemein langsam. Seine synodische Umlaufszeit oder das Intervall zwischen zwei auf einander folgenden Conjunktionen enthält 378 Tage, seine siderische Umlaufszeit 10758,97 Tage oder 29 Jahre 5 Monate und 14 Tage. Also durchläuft Saturn in ungefähr einem Monat 1° oder in 2½ Jahren ein Zodiakalzeichen. Er entfernt sich wenig von der Ebene der Ekliptik, die Neigung seiner Bahn auf dieser Ebene ist 2° 29′ 38″, die Länge des aufsteigenden Knotens 111° 55′ 47″, das Verhältniß der Excentricität zur halben großen Axe 0,05617, die mittlere Distanz der Umlaufszeit 9,5388, die mittlere Distanz der Sonne von der Erde als Einheit genommen.

96. Saturn ist also 9½mal weiter als wir von der Sonne entfernt. Wenn er sich ihr am meisten nähert, so trennen ihn immer noch 320 Millionen Meilen von ihr. Bei solchem Abstande erscheint die Sonnenscheibe 80mal kleiner als uns, Wärme und Licht erhält er also von der Sonne in derselben Proportion. Ein Beobachter auf dem Planeten kann die vier erstern Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars nicht bemerken, weil in dieser Distanz ihre Entfernungen von der Sonne zu klein sind, und sie also mit den Sonnenstrahlen sich vermischen, gleichwie auch uns ein Planet unsichtbar bleiben müßte, welcher der Sonne noch näher wäre als Merkur. Ein Saturnbewohner kann also mit Deutlichkeit nur den Jupiter erblicken; die Existenz des Mars, des-

sen Digressionen weit stärker als die der drei erstern Planeten sind, nur vermuthen; denn seine Kleinheit und sein schwaches Licht verhindern ihn, sich bemerkbar zu machen.

Die Beobachtung der Durchmesser des Saturn zeigt, daß er in Bezug zur Erde seine Distanz verändert. Im Augenblick der Opposition, wo der scheinbare Durchmesser den größten Werth hat, erhebt er sich auf 20″, in den Conjunktionen nur auf 16″. In den mittlern Entfernungen dieses Planeten von der Erde beträgt diese Zahl 18″. Saturn ist 984mal größer als die Erde. Durch ein Fernglas gesehen, erscheint seine Scheibe merklich abgeplattet, der Durchmesser in der Richtung der Abplattung ist, nach Arago, ungefähr $^1/_{11}$ kleiner als der Durchmesser in der entgegengesetzten Richtung.

Die Entfernung Saturns und die Schwierigkeit, seine Oberfläche zu beobachten, haben lange Zeit verhindert, die Erfahrung zu machen, ob er, wie die andern Planeten, eine drehende Bewegung habe. Herschel hat mittelst seines Riesenteleskops diese Frage bejaht. Die Bewegung geschieht, wie bei allen Planeten, von West nach Ost, um eine Axe, die 61° 54′ zur Ekliptik geneigt ist, die Dauer der Bewegung beträgt 10 St. 16′, also beinahe gleich lange wie die des Jupiter.

Von den Monden des Saturn.

97. Saturn ist von sieben Monden begleitet, die sich mit ihm von West nach Ost in beinahe kreisförmigen Bahnen um die Sonne bewegen. Ihre Distanzen vom Mittelpunkte des Planeten leiten sich von den Umlaufszeiten her. Ihre Gestalt wechselt fortwährend, aber ihre große Entfernung von uns verhindert, ihre Eklipsen zu beobachten, mag man sie zur Bestimmung der geographischen Längen oder zur Ermittelung der Distanz des Saturn von der

Erde, wie dies doch bei Jupiter möglich war, verwenden wollen. Es erfordert schon ausgezeichnet gute Instrumente, um nur die Satelliten des Saturn überhaupt zu erkennen; dennoch glaubte man Flecken auf der Oberfläche eines derselben zu erkennen, und sie erschienen, wenn der Satellit zu derselben Position, bezüglich zum Planeten, zurückkehrt. Man hat daraus geschlossen, daß er uns stets dieselbe Hemisphäre zukehrt; also dreht er, wie wir es bei den Jupitermonden sahen, sich um sich selbst in derselben Zeit wo er sich um den Saturn dreht. Dies wäre also eine neue Bestätigung für das Vorhandensein eines allgemeinen Gesetzes der vollkommenen Identität zwischen der drehenden Bewegung und der Umlaufsbewegung der Satelliten aber alle diese Resultate sind zu ungewiß, um diesen Schluß für mehr als eine sehr wahrscheinliche Hypothese ausgeben zu wollen.

Vom Saturns-Ring.

98. Man sollte glauben, daß die Monde, deren Zahl mit der weitern Entfernung eines Planeten von der Sonne verhältnißmäßig zunimmt, dazu bestimmt seien, den Mangel des Sonnenlichts, welcher eine Folge dieser Entfernung ist. zu compensiren. In diesem Falle wäre Saturn vor allen Planeten am meisten bevorzugt, weil er außer den sieben Satelliten auch noch ein in unserm Weltsystem isolirt dastehendes Phänomen darbietet. Er ist nämlich von einem Ring umgeben, welcher in der Ebene seines Aequators sich befindet, und eine Art von Lichtkrone um seine Scheibe bildet. Dieser Ring ist sehr dünn, seine Dicke scheint nicht eine halbe Sekunde zu betragen, seine Breite hingegen beträchtlicher, denn sie nimmt den dritten Theil seines Umfangs an dem Mittelpunkt des Planeten ein. Die Form ist von einer Ellipse (Fig. 63), deren Breite,

wenn sie am größten, beinahe die Hälfte seiner Länge beträgt. In den mittlern Entfernungen des Planeten ist der innere Halbmesser des Ringes 15″ und der äußere Durchmesser 21″; der Halbmesser des Planeten 9″, man hat also sa = 21″, sb = 15″ sc = 9″; woraus man schließt: ab = sa − sb = 6″ und cb = sb − sc 6″, d. h. die Breite des Ringes würde 6″ sein, also wie die Distanz seiner innern Fläche von der Scheibe des Planeten.

Ein englischer Astronom behauptet, daß man in diesem Zwischenraum einen Stern bemerkt habe. Wie dem auch sei, man kann sich leicht überzeugen, daß zwischen dem Ring und der Oberfläche des Planeten kein Zusammenhang sei. Anfangs scheint das Licht auf der Scheibe und auf der Fläche des Ringes nicht dasselbe zu sein, später aber wirft der Planet, welcher den obern Theil des Ringes debordirt, und von ihm an dem untern Theil debordirt wird, einen Schatten dahin, welcher mit starken Vergrößerungsgläsern leicht erkannt wird, und zugleich beweist, daß die beiden Körper von einander getrennt sind, so wie auch, daß sie nicht durch sich selbst leuchten. Ein anderes Phänomen zeigt uns noch besser, daß der Ring ein dunkler Körper sei, welcher sein Licht von der Sonne borgt, er verschwindet nämlich zu gewissen Zeiten, wenn er uns seine von der Sonne nicht erleuchtete Seite zukehrt. Wir bemerken ihn nicht eher, als bis Erde und Sonne auf derselben Seite seiner Ebene sich befinden.

99. In der Bewegung auf seiner Bahn zieht Saturn den Ring mit sich, welcher immer seine parallele Lage beibehält, und diese Bewegung, combinirt mit den Verrückungen der Erde in Beziehung zur Sonne, erklärt uns die Erscheinungen, welche er darbietet. Denken wir uns EDC (Fig. 64) als die Ekliptik, ceg als die Bahn des Saturn, dessen

Halbmesser $9\frac{1}{2}$mal größer ist, und S die Sonne. Sobald der Planet in c ist, wenn man annimmt, daß cx der Einschnitt der Fläche des Ringes mit der Ekliptik sei, sieht man, daß diese verlängerte Fläche nicht der Erdbahn begegnet, Sonne und Erde befinden sich überdies auf derselben Seite placirt. Wir bemerken die erleuchtete Fläche in der Gestalt einer Ellipse, und weil Saturn sich sehr langsam bewegt, muß diese Situation durch mehre Jahre hinaus unverändert bleiben; aber je weiter der Planet in seiner Bahn von c in g vorschreitet, nähert sich die Linie cx, die sich selber stets parallel bleibt, der Ekliptik, welche ihre Verlängerung damit endigt, daß sie successiv an den Punkten D, T, C diese abschneidet. Befindet sich die Erde im E auf der Verlängerung des Ringes, so bemerken wir ihn nicht mehr; und wenn sie vor der der Sonne entgegengesetzten Fläche vorbeigeht, so bleibt der Ring unsichtbar, so lange als die Linie cx zwischen Sonne und Erde tritt. Dieses Intervall kann mehre Monate anhalten. Wenn die Erde und die Sonne sich dann gleichzeitig über oder unter der Ebene des Ringes befinden, wird er wieder sichtbar und erscheint uns in der Gestalt einer Ellipse, welche sich um so mehr vergrößert, je größer der Winkel wird, welchen der von der Erde zum Saturn gezogene Gesichtsstrahl mit der Fläche des Ringes bildet. Zuweilen befindet sich der obere Theil dieser Ellipse hinter dem Planeten verborgen, während der untere Theil sich mit seiner Oberfläche vermischt. Saturn erscheint uns dann wie von zwei Henkeln getragen, die sich auf jeder Seite seiner Kugel in einer Breite ausdehnen, die sich nicht immer gleich bleibt.

Der Ring verschwindet vollständig, welches auch die Position der Erde sei, sobald die gerade Linie cx verlängert durch den Mittelpunkt der Sonne geht.

Da dieses Gestirn sich alsdann in der Ebene des Ringes findet, so beleuchtet sie nur die Dicke desselben, und die leuchtende Oberfläche ist zu dünn, um in so weiter Entfernung von der Erde bemerkt werden zu können. Saturn erscheint alsdann wie eine runde Kugel, ähnlich den andern Planeten.

Da die Bahn cdefg weit ausgedehnter ist als jene der Erde, so ist die Sehne des Bogens, welchen der Durchmesser CE der Ekliptik auf dieser Bahn bildet, etwa 10°, also beinahe die Bewegung Saturns in zehn Monaten. In diesem Zeitraum wird die Linie cx' vom Punkt E zum Punkt E' übergehen, wo sie die Ekliptik berühren muß, folglich wird Saturn in demselben Zeitraum, wo man ein Verschwinden und ein Wiedererscheinen des Ringes beobachten wird, in jene Punkte seiner Bahn wieder zurückkehren, welche den Knoten seines Ringes benachbart sind.* Dieses Phänomen wird sich also bei jedem seiner Umläufe zweimal wiederholen, und da die Umlaufszeit des Saturn 30 Jahre beträgt, so wird man ein Verschwinden und ein Wiedererscheinen alle 15 Jahre regelmäßig wiederkehren sehen. Der Ring bleibt dann beinahe 15 Jahre hindurch sichtbar.

Außer diesem Verschwinden, welches durch den Durchgang der Sonne durch die Ebene des Ringes veranlaßt wird, ist auch ein anderes Verschwinden möglich, welches eine Folge des Durchgangs der Erde durch dieselbe Ebene ist, dieses wird aber nicht wie das erstere allgemein sein, und wird bei jedem seiner Umläufe von der Position des Saturn, in Bezug zur Erde und zur Sonne abhängen. So

* Die Längen der Knoten des Ringes sind 170° und 350°, wenn also Saturn sich diesen beiden Punkten nähert, wird sein Ring uns unsichtbar, im Gegentheile aber ist seine Position die günstigste, um ihn zu beobachten, wenn der Planet 80° oder 260° Länge hat. Immer aber trägt die Position der Erde viel zum Aspect dieses Phänomens bei.

beobachtete man i. J. 1789 ein zweimaliges Verschwinden und ein zweimaliges Erscheinen in demselben Jahre, das erstere Verschwinden erfolgte am 4. Mai, und das erste Wiedererscheinen am 4. August; das zweite Verschwinden am 9. Oktober, und das zweite Wiedererscheinen bemerkte man auf der andern Fläche am 31. Januar 1790.

Hier folgen die Epochen, wo der Ring während eines wirklichen Umlaufs gänzlich verschwindet, und jene, wo er sich in einer Position befindet, die am geeignetsten ist, ihn den Erdbewohnern bemerkbar zu machen.

Epochen.	Mittlere Länge des Saturn.	Phasen des Ringes.
1825 Nov. . .	80° . .	die südliche Fläche erleuchtet.
1833 April . .	170 . .	unsichtbar.
1838 Juli . .	260 . .	die nördl. Fläche erleuchtet.
1847 Dez. . .	350 . .	unsichtbar.
1855 April . .	80 . .	die südliche Fläche erleuchtet.

Diese Erscheinungen, welche die sehr einfache Folge der verschiedenen Grade der Neigung sind, welche die vom Saturn und seinem Ringe uns zukommenden Lichtstrahlen, vermöge der respektiven Bewegungen dieses Planeten und der Erde nehmen, haben anfänglich den Astronomen viele Verlegenheiten verursacht, da sie nicht mit so guten Instrumenten ausgerüstet waren, um jene bemerken zu können; allein Huygens, welcher im Besitze besserer Fernröhre war, erkannte die wahre Ursache, und sein Erklärungsversuch hat auch den Beifall der meisten Astronomen erhalten.

100. Weil das Verschwinden des Ringes in gewissen Epochen von der Schwäche seines uns zugeschickten Lichts herrührt, so ist es klar, daß wir ihn stets beobachten könnten, wenn unsere Instrumente noch vollkommener wären, wie dies auch Herschel

Vater, unterstützt von den größten Fernröhren, bestätigt hat. Er sah nämlich noch den Ring zur Zeit seines Verschwindens wie einen Haarstrich, welcher die Oberfläche des Planeten zu durchschneiden schien. Die Beobachtung einiger glänzenden Punkte, die man auf der Oberfläche des Ringes bemerkte, zeigte ihm an, daß der Ring eine drehende Bewegung von West nach Ost habe, wie alle andern planetarischen Bewegungen. Diese Bewegung geschieht um eine Axe, die perpendikulär von seiner Ebene, und durch den Mittelpunkt des Saturn geht, die Dauer dieser Bewegung ist 0,437 T. oder ungefähr 10 Stunden, während der Planet um dieselbe Axe, in derselben Richtung und in der Periode von 0,428 T. sich dreht. Das Merkwürdigste dabei ist, daß Herschel dieses Resultat durch direkte Beobachtung, und Laplace durch die Formeln der Theorie erzielte. Die Neigung des Ringes zur Ebene der Ekliptik, ist 28 bis 30°, die Länge seines aufsteigenden Knotens 167° 20′.

Die Oberfläche des Ringes ist merklich eben, sonst würden, wie schon Huygens bemerkte, einige Stellen der Oberfläche früher als die andern erleuchtet sein, wie wir dies auf der Erde an den Berggipfeln beobachten. Diese Oberfläche ist nicht fortlaufend, denn man bemerkt einen kreisförmigen schwarzen Streifen, welcher den Ring in zwei deutliche concentrische Theile sondert, wovon die Außenseite minder breit ist, als die Innenseite. Einige Beobachter wollen sogar noch andere schwarze Streifen bemerkt haben, welche den Ring in noch mehre Theile sondern.

101. Die sechs erstern Monde des Saturn bewegen sich beinahe in der Ebene des Ringes, der siebente allein entfernt sich merklich, indem er eine Ebene durchläuft, welche der Ekliptik bedeutend näher ist. Endlich hat Herschel noch zwei Satelliten

zu bemerken geglaubt, welche in der Richtung von West nach Ost um den Saturn in der Ebene des Ringes sich bewegen. Diese Monde haben keine Sekunde im Durchmesser, sind folglich sehr schwer zu erkennen.

Wir haben früher gesagt, daß die Schwierigkeit, die Eklipsen der Saturnmonde zu bemerken, die Distanzen dieses Planeten von der Erde und der Sonne zu messen, verhindern, aber auf eine sehr sinnreiche Art hat man mittelst der Eklipsen des Ringes jenes Ziel endlich doch zu erreichen vermocht. Es gibt nämlich einen Fall, wo der Ring verschwindet, weil die Sonne in seiner Ebene ist, dann befindet sich der Planet auf der Linie der Knoten des Ringes, oder vor dem Einschnitt seiner Ebene mit der Ekliptik; und da die Position dieser Linie uns schon bekannt ist, so wird man den Winkel erhalten, unter welchem der Planet vom Mittelpunkt der Sonne aus gesehen würde. Mann kennt übrigens die Position der Erde in Bezug zu demselben Punkt; verbindet man durch drei gerade Linien die Mittelpunkte des Saturn, der Erde und der Sonne, so wird man ein geradliniges Dreieck STP (Fig. 65) bilden, in welchem man den Winkel von der Erde STP, den Winkel von der Sonne PST erkennen wird, und folglich daraus das Verhältniß der Seiten PT, SP zu ST schließen, d. h. die Distanz des Saturn von der Erde und von der Sonne in Theilen der Distanz der Erde von der Sonne. Auf diese Weise erfuhr man, daß Saturn 9½mal entfernter von uns ist als die Sonne, wenn der scheinbare Durchmesser 16″ ist, was ganz genau mit dem Resultat übereinstimmt, das wir aus der Vergleichung der Umlaufszeiten erzielt haben.

Uranus.

102. Uranus ist von allen Planeten derjenige, wel-

cher von der Sonne am weitesten entfernt ist, und an der Grenze unseres Sonnensystems seinen Platz hat. Er hat nur den Anschein eines Sterns von sechster oder siebenter Größe, ist dem bloßen Auge kaum bemerkbar; daher er auch den Alten unbekannt blieb, und erst von Herschel im Jahre 1781 endeckt wurde. Es scheint jedoch, als hätten ihn schon frühere Astronomen zu verschiedenenen Zeiten bemerkt gehabt, da sie aber nicht seine eigene Bewegung erkennen konnten, so hielten sie ihn für einen Fixstern. Uranus hat genau denselben Gang wie die andern obern Planeten, hat seine Stillstände und ähnliche Rückläufigkeiten, wenn er sich der Opposition nähert, nur ist seine Bewegung außerordentlich langsam.

Die Umlaufszeit des Uranus umfaßt 84 Jahre 8 Tage 18 Stunden. Sein mittlerer Abstand von der Sonne ist mehr als 19mal so weit wie jener der Sonne von unserer Erde; seine Bahn ist nicht ganz kreisförmig, seine Excentricität ist 0,04661 der halben großen Axe, seine Neigung auf der Ebene der Ekliptik 46′ 26″, folglich ist er von allen Planeten derjenige, welcher sich am wenigsten von der Ebene der Ekliptik entfernt. Die Länge seines aufsteigenden Knotens war im Jahre 1800 gegen 72° 59′ 21″.

103. Herschel hat mit Hülfe seines Riesenteleskops an diesem Planeten sechs Satelliten erkannt, die aber noch schwerer zu bemerken sind als die Satelliten des Saturn. Die andern Astronomen konnten mit ihren gewöhnlichen Instrumenten nur den zweiten und vierten Satelliten erkennen. Bis jetzt scheint es also, daß Herschel der einzige sei, welcher sie aufmerksam beobachtete. Aus seinen Beobachtungen geht hervor, daß sie sich in fast kreisförmigen Bahnen, welche perpendikulär von der Ebene der Ekliptik sind, bewegen. Der zweite Satellit vollendet seinen Umlauf in 8 Tagen 17 Stunden

1′ 19″, der vierte in 11 T. 11 St. 5′ 1″. Merkwürdig ist aber, daß ihre Bewegung statt rechtläufig zu sein wie jene der andern Planeten und Satelliten, rückläufig ist, d. h. ihre Richtung geht von Ost nach West. Diese beiden Satelliten sind die einzigen, deren Elemente durch positive Beobachtungen festgestellt sind, über die andern vier besitzt man nur Conjekturen, und selbst ihre Existenz ist noch zweifelhaft.

Herschel hat noch die Spuren zweier Ringe am Uranus erkennen wollen. Der eine perpendikulär von dem andern, aber diese Vermuthung ist durch nichts begründet.

Der schwache Glanz und der weite Abstand des Uranus erschweren die Beobachtung dieses Planeten, in den Fernröhren erscheint sein Durchmesser nicht 4″, auch hat man nicht, wie bei den andern Planeten, eine drehende Bewegung erkannt, man kann dies nur durch Analogie vermuthen. Diese berechtigt uns anzunehmen, daß die Bewegung in derselben Richtung vor sich geht, wie bei den andern Planeten, und daß die Satelliten sich nur wenig von der Ebene des Aequators entfernen, so daß die Rotationsaxe nur sehr wenig in der Ebene der Ekliptik enthalten ist.

Der Durchmesser der Sonne, den wir unter einem Winkel von 31′ 54″ von der Distanz des Uranus, die gegen 660 Millionen Meilen beträgt, sehen, würde nur 1′ 40″ sein, die Scheibe dieses Gestirns dürfte 400mal kleiner erscheinen als auf der Erde, und ungefähr wie ein Stern erster Größe. Also würden Licht und Wärme der Sonne in demselben Maße verringert sein, und man kann daraus auf die starke Kälte schließen, die auf der Oberfläche dieses Planeten herrschen mag. Der Durchmesser des Uranus ist 4½mal größer als jener der Erde, und sein Volumen 67½mal größer als jenes unserer Erde.

Die vier teleskopischen Planeten.

Ceres, Pallas, Juno und Vesta.

104. Diese vier Planeten sind erst im jetzigen Jahrhundert entdeckt worden, Ceres im Jahre 1801 von Piazzi, Pallas 1802 von Olbers, Juno 1804 von Harding und Vesta 1807 von Olbers. Ihre Entdeckung war nicht das Verdienst des Zufalls, sondern rationelle Folgerungen führten darauf. Wir haben bereits gesehen, daß Kepler sich nicht den großen leeren Raum zwischen Mars und Jupiter erklären konnte, daher sich dachte, er müsse durch die Bahn eines unbekannten Planeten getheilt werden, dessen Existenz die Gleichmäßigkeit der Entfernungen der Planeten von der Sonne wieder herstellen würde. Die Entdeckung des Uranus brachte diese Idee Keplers bei den Astronomen wieder in Erinnerung, und so wurde Piazzi zu seiner Entdeckung der Ceres geleitet, deren eigene Bewegung in Bezug zu den Sternen, die sie umgaben, er bald erkannte.

Dieser Planet ist ungemein klein, und in einen Nebel gehüllt, der die eigentliche Scheibe zu unterscheiden verhindert. Sein Abstand von der Sonne ist 2,78, der Abstand der Sonne von der Erde als Einheit genommen, d. h. daß dieser Planet dreimal weiter als wir von der Sonne entfernt ist, was ihm also seinen Platz zwischen Mars und Jupiter anweist, ganz der Vermuthung Keplers entsprechend.

Die Arbeiten, denen sich Olbers unterzog, um den Bewegungen dieses Planeten zu folgen, führten ihn auf die Entdeckung der Pallas, deren Abstand von der Sonne ziemlich jener der Ceres ist. Nur entfernt sich Pallas nördlich und südlich von der Ekliptik weit bedeutender, und mögen diese Abstände wohl 24° übersteigen. Ebenso ungewöhnlich

sind die Neigungen dieser Bahnen gegen die Ekliptik, denn während bei den ältern Planeten diese Neigungen nur bis 7° gehen, entfernen sich Juno 13 und Pallas sogar 34½° von der Ekliptik. Dadurch hat der alte Thierkreis seine Bedeutung verloren. Denn die Alten dachten sich eine der Ekliptik parallele, zu beiden Seiten derselben 10° breite Zone, in welche sie die 12 Sternbilder annahmen, und in welcher sich nebst Sonne und Mond auch alle übrigen Planeten bewegten. Allein die 4 neuen Planeten gehen, von der Erde gesehen, zuweilen so weit von der Ekliptik weg, daß der neue Thierkreis, der sie alle einschließt, mehr als 100° breit sein müßte.

Endlich Juno und Vesta, die bald nach jenen beiden entdeckt wurden, haben dieselben Abstände von der Sonne. Die mittlere Distanz der Juno ist 2,6, und jene der Vesta 2,3, die mittlere Distanz der Erde von der Sonne als Einheit genommen.

Diese vier Planeten sind nur durch sehr gute Fernröhre bemerkbar. Vesta, obschon der kleinste von allen, hat doch den stärksten Glanz, so daß er einem Stern der fünften oder sechsten Größe gleich kömmt, die andern möchte man mit Sternen neunter und zehnter Größe vergleichen. Das Licht der Ceres wechselt sehr oft seine Farbe, bald ist es roth, bald blaß und weislich.

Der Durchmesser der Pallas ist der bedeutendste unter den vieren, dennoch hat er nur 4″, und sein Volumen wird von Schröter nicht größer als das unseres Mondes angegeben. Man hat berechnet, daß das Gesammtvolumen aller vier Planeten noch nicht den 25sten Theil unseres Erdvolumens beträgt. Wegen ihrer Kleinheit wollen sie einige Astronomen gar nicht als Planeten gelten lassen, sondern nur mit dem Namen Asteroiden sie bezeichnen, die meisten aber lassen sie als Planeten gelten, unter=

scheiden sie aber durch den Beinamen teleskopische Planeten, weil sie nur durch Fernröhre erkennbar sind.

Ihre Bewegungen sind wie die aller Planeten von West nach Ost, sie sind abwechselnd recht- und rückläufig wie die Bewegungen der obern Planeten. Diesen Gestirnen ist von deutschen Astronomen die meiste Aufmerksamkeit zugewendet worden, so daß wir jetzt die Elemente ihrer Bahnen und die Gesetze, nach denen sie sich bewegen, sehr wohl kennen. Die Ebenen, welche sie einschließen, sind im Allgemeinen stark zur Ebene der Ekliptik geneigt, die Neigungen und Excentricitäten der Bahnen von Juno und Pallas machen sich durch ihre Größe bemerkbar.

Ueber ihren Abstand von der Sonne läßt sich nur aus ihrer Umlaufszeit schließen. Diese ist fast dieselbe und umfaßt für die drei erstern ungefähr $4^2/_3$ Jahre. Die Umlaufszeit der Vesta ist schon nach ungefähr $3^2/_3$ Jahren vollendet.

105. Die Kleinheit dieser Planeten sowie ihre gleichmäßigen Entfernungen von der Sonne haben die Vermuthung erzeugt, daß sie vielleicht nur Bruchstücke eines größern geborstenen Planeten sein mögen. In diesem Falle, sagt uns die Theorie, müßten die Fragmente des Gestirns in mehr oder weniger excentrischen Bahnen kreisen, und verschieden zur Ekliptik geneigt, alle Distanzen von der Sonne müßten aber gleichmäßig sein, und alle Bahnen sich an demselben Punkt abschneiden. Nun findet dies aber wirklich bei allen vier Planeten statt. Einen neuen Grad von Wahrscheinlichkeit hat diese Conjektur durch Lagrange erhalten, welcher Mathematiker durch die Theorie zeigt, daß es nur einer Erschütterung bedurfte, die den Trümmern eines Planeten eine Geschwindigkeit mitgetheilt hätte, welche 20mal geringer als die einer Kanonenkugel ist, um diese

Trümmer solche elliptische Bahnen beschreiben zu lassen wie jene der vier teleskopischen Planeten.

Wie dem auch sei, es muß die Bemerkung freuen, daß die Kenntniß des gestirnten Himmels so weit vorgeschritten ist, um die Entdeckung noch unbekannter Planeten etwas selten zu machen. Und da man annehmen darf, die Massen dieser Asteroiden müssen sehr klein sein, weil sie der Beobachtung sich so lange entziehen konnten, so darf man sich der Vermuthung hingeben, daß, wenn es überhaupt noch Planeten zu entdecken gäbe, ihre Existenz für uns ganz gleichgültig sein kann, indem sie wohl keinen merklichen Einfluß auf die andern Himmelskörper unseres Sonnensystems ausüben.

Achtes Kapitel.

Allgemeine Gesetze der planetarischen Bewegungen.

Alle Planeten bewegen sich in derselben Richtung um die Sonne. — Bildlicher Abriß ihrer Bahnen. — Diese Curven sind Ellipsen, von deren Brennpunkten einen die Sonne einnimmt. — Keplers Gesetze. — Elemente der Planetenbahnen. — Mittel, sie zu bestimmen. — Construktion der Planetentafeln. — Merkwürdige Configurationen des Sonnensystems. — Störungen der elliptischen Bewegung der Planeten. — Sekuläre Ungleichheiten. — Periodische Ungleichheiten. — Elliptische Bewegungen der Satelliten um ihre respektiven Bahnen. — Elemente ihrer Bahnen. — Bemerkenswerthe Verwandtschaft zwischen den siderischen Bewegungen der drei erstern Jupitermonde. — Geschwindigkeit des Lichtes, geschlossen aus der Beobachtung der Eklipsen des vierten Satelliten. — Abriß der Elemente der Satelliten.

106. Im vorhergehenden Kapitel haben wir die Resultate einer langen und aufmerksamen Beobachtung der planetarischen Bewegungen dargestellt. Was am meisten die frühesten Beobachter überraschte, waren die Stillstände und Richtungsveränderungen, welchen alle Planeten unterworfen sind, wenn sie in den untern Gegenden ihrer Bahnen anlangen, d. h. wenn sie am hellsten glänzen, ihre scheinbaren Durchmesser am größten, und sie folglich der Sonne am nächsten sind. Wir haben gesehen, daß diese Erscheinungen eine Folge dessen sind, daß die Erde nicht den Mittelpunkt des Weltalls bildet, son-

dern daß diese, wie die andern Planeten, in der Ekliptik immer weiter vorrückt. Diese Nothwendigkeit, die Bewegung der Erde um die Sonne zugeben zu müssen, resultirt aus so vielen Thatsachen, die ohne diese Annahme unerklärlich blieben, daß man sie nicht gut in Zweifel ziehen kann, ohne aller Ueberzeugung Hohn zu sprechen. Die ältern Astronomen, welche, wie das Volk, sich durch die Sinne täuschen ließen, hielten lange Zeit die Erde für den Mittelpunkt des Weltalls. In dieser Hypothese beharrend, machten ihnen die Unregelmäßigkeiten der Planeten viel zu schaffen. Wir haben gesehen, durch welches Gerüste von Kreisen und Epicyklen sie sich durcharbeiten mußten, um die Phänomene zu erklären, auf welche ihre unvollkommenen Beobachtungen sie aufmerksam gemacht hatten. Diese Verwicklung löste sich, sobald die wahre Beschaffenheit des Weltsystems durch Kopernik erkannt worden war.

Die uns entgegentretende Schwierigkeit die eigentlichen Gesetze dieser Bewegungen zu erkennen, hat darin ihren Grund, daß wir uns nicht in dem Mittelpunkte dieser Bewegungen befinden, und daß die Orte, wo wir sie beobachten, von selbst ihre Position im Raume ununterbrochen verändern. Sehr leicht war es uns, die Bahnen des Mondes um die Erde, und der Erde um die Sonne abzuzeichnen, weil in dem erstern Fall die direkten Beobachtungen uns mit allem ausgerüstet haben, was zur Erkenntniß dieses Gegenstandes nothwendig war, und im zweiten Falle es uns erlaubt war, vom Mittelpunkte der Sonne aus gesehen, die auf der Oberfläche der Erde gemachten Beobachtungen dieses Gestirns auf die Erde überzutragen. Versuchen wir nun bei den Planeten die Anwendung eines analogen Verfahrens, und forschen wir der Natur dieser Bahnen nach, welche sie zu beschreiben schienen, wenn man sie vom Mittelpunkt der Sonne aus

beobachten würde. Beachten wir deßhalb, daß es für die Planeten Beobachtungen gibt, welche dieselben Resultate erzeugen, als wären sie auf der Oberfläche der Erde oder auf der Oberfläche der Sonne gemacht worden. Es sind dieselben, welche sich auf die Oppositionen und Conjunktionen beziehen, weil im Augenblick der Erscheinung die Erde, die Sonne und der Planet sich auf derselben geraden Linie befinden, und demselben Punkt des Himmels entsprechen. Nehmen wir also an, daß man einem obern Planeten, wenn er eben von seiner Opposition ausgeht, auf seinem Laufe folge — denn die Conjunktionen legen der Beobachtung weit mehr Schwierigkeit in den Weg, weil der Planet alsdann in die Sonnenstrahlen versunken ist — und notire man sich genau den Moment des Phänomens, und bezeichne, welchem Punkte des Himmels der Planet alsdann entsprechen müßte, so wird man gleich erkennen, daß dieser Ort derselbe ist, welchen dieses Gestirn einem in die Sonne versetzten Beobachter einzunehmen schiene. Bei der nächsten Opposition beobachte man gleichfalls genau den Moment seines Eintreffens, und den Punkt des Himmels, welchem alsdann der Planet entspräche. Der Bogen, welcher zwischen diesem Orte und jenem enthalten ist, den der Planet bei der erstern Opposition einnahm, wird sodann den rechtwinkligen Raum angeben, welchen der Planet in jener Zwischenzeit durchlaufen hat, als ob er vom Mittelpunkt der Sonne aus gemessen worden wäre; und die Differenz der beobachteten Momente wird die Zeit sein, welche der Planet, ihn zu beschreiben, gebraucht hat. Da die Bewegung des Planeten schneller ist als jene der Erde, so werden die Oppositionen nach und nach verschiedenen Punkten seiner Bahn entsprechen; indem man alle während eines siderischen Umlaufs des Planeten beobachteten Oppositionen vereinigt, bilde

man um den Punkt S (Fig. 66) eine Reihe von Winkeln PSP′, P′SP″ u. s. w., welche die rechtwinkligen Bewegungen des Planeten in der Zwischenzeit der beiden aufeinanderfolgenden Oppositionen darstellen werden.

Die Vergleichung dieser Winkel und Zwischenzeiten wird hinreichen, um zu zeigen, daß die durchlaufenen Bogen den entsprechenden Zeiträumen doch nicht gleich sind, was also zu der Vermuthung leitet, daß die Bahn nicht kreisförmig sei. Um aber der Sache gewiß zu sein und diese Curve zu beschreiben, müßte man die Distanzen SP, SP′ des Planeten von der Sonne kennen. Man ist nicht im Stande, sie in den Oppositionen und Conjunktionen zu bestimmen, weil der Planet auf demselben Gesichtsstrahl, wie die Sonne, sich befindet; beobachtet man aber den Planeten in einer Zwischen-Position — am liebsten im Moment der Quadratur, weil alsdann sein Radius Vector sich dem Beobachter unter dem größten Winkel darstellt, indem man eine Proportion zwischen der ersten Opposition von der Quadratur, und der darauf folgenden Opposition herstellt, und die Bogen, welche der Planet in diesen Zwischenzeiten beschreibt — so wird man die Position des Radius Vector Sp, auf welchem der Planet im Moment der Quadratur sich befinden wird, approximativ bestimmen können. Betrachtet man das Dreieck SpT, welches durch die geraden Linien gebildet ist, die die Mittelpunkte der Sonne, des Planeten und der Erde verbinden, so wird der Winkel von der Erde, welcher zwischen dem Planeten und der Sonne enthalten ist, durch die Beobachtung gegeben sein; der Winkel von der Sonne wird der durch die vorhergehende Construktion bestimmte Winkel pST sein, man kann also daraus das Verhältniß von Sp zu ST schließen, d. h. den Werth des Radius Vectors des Planeten in Theilen

des Radius Vector der Erde, welcher selber in Theilen der mittlern Distanz der Erde von der Sonne ausgedrückt sein wird. Wiederholt man dieselbe Operation für jede der folgenden Quadraturen während der siderischen Umlaufszeit des Planeten, und wenn man will, auch für die Epochen zwischen den Conjunktionen und Quadraturen, und indem man die daraus resultirenden Werthe zu den um den Punkt S gezogenen Linien in Beziehung bringt, wird man ebenso viele Winkel p,p′p″ ꝛc. haben, durch welche man eine Curve gehen lassen wird, welche die Bahn des Planeten vorstellen soll. Man begreift außerdem, daß, wenn man eine Reihe von Beobachtungen, die während mehren Umläufen des Planeten angestellt wurden, mit einander vergleicht, man dieser erstern Anlage der Bahn einen weit größern Grad von Genauigkeit zu geben im Stande sein wird, folglich auch dahin gelangen muß, sie mit der gehörigen Präcision abzeichnen zu können.

107. Nur durch Anwendung eines ähnlichen Verfahrens auf die Bewegungen des Mars wurde Kepler dahin geleitet, durch eine Verlängerung der daraus hervorgehenden Curve, diese mit einer elliptischen Figur zu vergleichen, und sich zu überzeugen, daß die Bahn des Mars wirklich eine Ellipse sei, von deren Brennpunkten einen die Sonne einnimmt.* Kepler hatte glücklicherweise, um zu dieser sehr wichtigen Entdeckung geführt zu werden, den Planeten Mars ausgesucht, weil — da dessen Excentricität sehr groß ist — die Gestalt seiner Bahn sich immer mehr von der Kreisfigur entfernt, was die Natur dieser Curve viel leichter erkennen läßt.

* Diese Bewahrheitung war leicht. Man weiß, daß drei gegebene Positionspunkte auf einer Fläche hinreichen, um vollständig eine Ellipse zu bestimmen, von deren Brennpunkten einer gekannt ist. Berechnet man nun die Ellipse, die drei Beobachtungen des Planeten genügen würde, so wird man sehen, ob alle andern Beobachtungen hierin mitbegriffen sind.

Es war sehr natürlich, durch Analogie zu schließen, daß dies auch die Gestalt der Bahnen anderer Planeten sei, und daß Kepler es nicht schwierig fand, sich zu überzeugen, daß alle Beobachtungen sich in dieser Hypothese genau repräsentirt fänden. Wir haben gesehen, daß die Bahn, welche die Erde in ihrer jährlichen Bewegung um die Sonne beschreibt, eine Curve derselben Art ist. Man kann also daraus schließen, daß wir hier die vornehmste Grundursache der planetarischen Bewegungen vor uns haben:

1) Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, von deren Brennpunkten einen die Sonne einnimmt. Es handelte sich hernach darum, das Gesetz der transferirenden Bewegung auf diese Curven anzuwenden. Indem man die von Mars auf seiner täglichen Bewegung an verschiedenen Punkten seiner Bahn beschriebenen Curven mit den successiven Kräften der ihnen entsprechenden Radii Vectores verglich, erkannte man, daß diese Bogen, multiplizirt durch das Quadrat der Radii Vectores, ein constantes Produkt geben. Nun haben wir aber, als von der Sonne die Rede war, gesehen, daß dieses Produkt das Doppelte des kleinen elliptischen Sektors sei, welcher zwischen zwei durch die Zwischenzeit eines Tages getrennten successiven Positionen des Radius Vector enthalten ist. Man kann also schließen, daß die um die Sonne von den Radii Vectores des Mars beschriebenen Flächen in gleichen Zeiträumen gleich sind; oder daß sie mit der Zahl der Tage, die, um sie abzuzeichnen, angewendet werden, zugleich steigen. Wir haben erkannt, daß dasselbe Gesetz sich beziehungsweise auf die jährliche Bewegung der Erde anwenden lasse. Kepler überzeugte sich übrigens, daß es sich auch bezüglich der andern Planeten bewähre. Es läßt sich also aus diesem auf die andere Grundursache schließen:

2) Die durch die Radii Vectores der Planeten um die Sonne gezogenen Flächen sind den Zeiträumen proportionirt, welche, sie zu beschreiben, erforderlich sind. Diese beiden Grundursachen genügen, um in jedem Augenblick die Position eines Planeten, in Beziehung zu einer durch den Mittelpunkt der Sonne gezogenen unveränderlichen Linie angeben zu können. Allein Kepler unternahm es, das Verhältniß, welches zwischen den Umlaufszeiten der verschiedenen Planeten und ihrer Distanzen von der Sonne bestehen soll, zu erforschen. Diese Aufgabe dauerte 18 Jahre, einen so hohen Werth legte er auf die Lösung derselben, und nachdem er endlich nach vielen vergeblichen Versuchen zu einer befriedigendern Hypothese gelangte, wagte er es 14 Tage hindurch nicht seine Berechnung für zuverlässig zu halten, immer noch in der Furcht lebend, daß der Erfolg seine Anstrengungen getäuscht habe. Das zwischen den Umlaufszeiten und den Distanzen bestehende Verhältniß, das er zu entdecken im Begriffe war, und welches durch ein allgemeines Gesetz die Bewegungen der verschiedenen Planeten unter sich in Harmonie bringt, bildet diese dritte Grundursache.

3) Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sind unter sich gleich wie die Cubus der großen Axen der Bahnen. Das sind die drei Grundursachen, welche die Bewegungen der Planeten um die Sonne leiten, und die immer durch die Uebereinstimmung der Beobachtungen bewahrheitet wurden, daher sie die Grundlage der theorischen Astronomie geworden sind. Diese Prinzipien, die Keplerschen Gesetze genannt, haben den Namen ihres Erfinders der Unsterblichkeit übergeben. Die Nützlichkeit der beiden ersten Prinzipien — welche es dem Astronomen möglich machen, in jedem Augenblicke die wechselseitigen Positionen aller Planeten

sowohl unter sich, als in Beziehung zu den Fixsternen, von dem Moment an zu bestimmen, als die Positionen, welche sie in einem gegebenen Zeitpunkt inne hatten, gekannt sind, und so die Configuration des Planetensystems in den verflossenen und künftigen Zeiten zu bezeichnen — empfiehlt sich von selbst. Um nun den Werth des dritten Prinzips zu würdigen, genügt die Bemerkung, daß von allen Elementen der Bewegung eines Planeten, die Zeit, welche dieser bedarf, um zu derselben siderischen Position zurückzukommen, die leichteste für die Beobachtung ist. Das Verhältniß, welches von der Umlaufszeit eines Planeten auf seinen Abstand von der Sonne schließen läßt, gibt diese Distanz mit einer größern Genauigkeit, als man von jeder andern Art direkter Beobachtungen erwarten dürfte. Mittelst dieses Verhältnisses wird man, die mittlere Distanz der Erde von der Sonne als Einheit genommen, nach jenem von den Astronomen adoptirten Gebrauch, die Distanzen aller Planeten in Theile dieser Einheit bestimmen, und dann daraus ihre absoluten Distanzen schließen können, indem man die Zahlen multiplizirt, welche ihre relativen Distanzen ausdrücken, durch den numerischen Werth des Abstandes der Erde von der Sonne, ausgedrückt in Theilen jener Größe, welche man, die Distanzen auszumessen gewählt hat. Das sind nun die Gesetze, welche Kepler lediglich durch die Beobachtung aufgefunden, und welche ein halbes Jahrhundert später Newton das Gravitationsgesetz erfinden ließen, das von jenen nur eine mathematische Schlußfolge ist.

108. Wir haben oben Perihelium jenen Punkt der Bahn eines Planeten genannt, wo er der Sonne am nächsten ist, und Aphelium den Punkt, wo er am weitesten von ihr entfernt ist. Gemäß der Construktion der Ellipse (Fig. 34) sind diese beiden Punkte am äußersten Ende der großen Axe, dere

Hälfte die mittlere Distanz des Planeten von der Sonne ist. Die Ausschweifung der größern Axe über der kleinsten Distanz bestimmt die Abplattung der Bahn, und das Verhältniß der Hälfte ihrer Differenz zur halben großen Axe gibt ihre Excentricität. Kennt man die halbe große Axe und die Excentricität, so kann man die Ellipse eines Planeten beschreiben, aber um die Position dieser Curve in Beziehung zur Erdbahn zu bestimmen, muß man ihre Neigung gegen die Ebene der Ekliptik und die Position der Knotenlinie kennen. Ist nun die Lage der Bahn vollständig fixirt, so wird man jederzeit sehr leicht den Standpunkt des Planeten am Himmel finden, vorausgesetzt, daß man die Position des Planeten auf seiner Bahn zu einer gegebenen Epoche kennt.

Die Bestimmung der planetarischen Bewegungen um die Sonne hängt also im Allgemeinen von sechs Größen ab, die man *Elemente der elliptischen Bewegung* genannt hat. Fünf von diesen Elementen setzen die Eigenschaft und Position der Bahn fest, als: 1) die halbe große Axe oder mittlere Distanz des Planeten von der Sonne; 2) die Excentricität; 3) die Position des Periheliums auf der Bahn; 4) die Position der Knotenlinie oder der Einschnitt der Bahn mit der Ebene der Ekliptik; 5) die Neigung der erstern Ebene gegen die zweite. Das sechste Element endlich, lediglich zur Bewegung des Planeten in Beziehung stehend, ist der Ort, welchen dieser auf seiner Bahn in einem bestimmten Moment einnimmt, oder seine Länge gezählt auf dieser Bahn vom Ausgang einer unveränderten geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Sonne geht; diese Größe nannte man: *die Länge der Epoche*.

Da man nur an die sieben Hauptplaneten denkt, so hätte man im Ganzen 40 Größen zu kennen nothwendig, um im Stande zu sein, die Position eines jeden

Planeten um die Sonne in einem gegebenen Momente bestimmen zu können. Die Angabe dieser Elemente bildet eine der vornehmsten Aufgaben der Astronomen, mit deren Vervollkommnung sie sich noch immer beschäftigen.

Die große Axe und die Excentricität lassen sich nicht durch direkte Beobachtungen bestimmen, aber man leitet sie leicht aus den Gesetzen der elliptischen Bewegung ab.

So läßt also die Beobachtung der Zwischenzeiten, die ein Planet bedarf, um zu denselben Knoten zurückzukehren, mit größter Präcision seine siderische Umlaufszeit erkennen, und mittelst des dritten Kepler'schen Gesetzes durch eine einfache Proportion die mittlere Distanz des Planeten von der Sonne in Theilen der mittlern Distanz der Erde von demselben Gestirne schließen.*

Die Beobachtungen der scheinbaren Durchmesser und der täglichen Bewegungen, welche uns eine vorläufige Idee von der Excentricität der Mond- und Sonnenbahnen geben, können für die Planeten nicht gebraucht werden, weil wir nicht am Brennpunkt ihrer Bahnen placirt sind; und vergleicht man drei nach ihren Werthen beobachtete Längen in einer Ellipse, wo die Excentricität und das Perihelium willkürlich sind, so gelangt man leicht dahin, diese beiden Elemente zu bestimmen.

* So beträgt die Dauer einer siderischen Umlaufszeit Merkurs 87,96925804 T., und jene des siderischen Jahres 365,256384 T., die Cubus der großen Axen der Merkurs und der Erdbahn werden also durch das dritte Kepler'sche Gesetz den Quadraten dieser Zahlen proportional sein, und indem man erstere durch a, letztere durch a' bezeichnet, wird man haben:

$$(365,256384)^2 : (87,96625804)^2 :: a'^3 : a^3$$

wovon man — indem man als Einheit der Länge die mittlere Distanz der Erde von der Sonne nimmt, was da gibt $a = 1$ — abzieht:

$$a = \left(\frac{87,96925804}{365,256384}\right)^{2/3} = 0,387099$$ und eben so für die andern Planeten.

109. Diese Methode ist einfach und allgemein, zuweilen aber können besondere Umstände die Bestimmung der Excentricität und des Periheliums erleichtern. Oben ist der zwischen zwei Gesichtsstrahlen von der Erde zu einem Planeten und zur Sonne gezogenen Winkel Elongation genannt worden. Die größte rechtwinkelige Distanz eines Planeten von der Sonne für einen auf der Oberfläche der Erde postirten Beobachter, oder der Elongation, welcher statt hat, wenn der Winkel zum Planeten SPT (Fig. 67) ein gerader ist, oder wenn der Radius Vector TP, von der Erde zum Planeten gezogen, der Bahn abcd tangent ist, heißt seine Digression. Dieses Wort wendet man bloß auf die unteren Planeten Merkur und Venus an. Wäre die Erde stets in derselben Distanz von der Sonne, und die Planetenbahnen kreisförmig, so würden die Digressionen eines Planeten stets von gleicher Größe sein. Allein da die Planetenbahnen elliptisch sind, so muß die Digression gemäß den Positionen des Planeten und der Erde in ihren respektiven Bahnen variiren. Die Digression ist in ihrem Minimum und in ihrem Maximum, wenn der Planet sich auf den Wendepunkten befindet, die gerade Linie TP (Fig. 68) von der Erde zum Planeten gezogen, ist alsdann perpendikulär von der großen Axe PP′ und folglich tangent von der Ellipse.

Steht dies fest, so werden sie, wenn man durch die Beobachtungen eines Planeten die größere und kleinere Digression aussucht, seine Distanzen von der Sonne erkennen lassen. Befindet er sich im Perihelium oder Aphelium seiner Bahn, so wird die Ausschweifung der erstern gegen die zweite, getheilt durch die mittlere Distanz das Doppelte seiner Excentricität sein. Man bestimmt zugleich auf diese Art die Excentricität und die Position des Periheliums, allein diese Methode läßt sich nur auf Mer-

kur und Venus anwenden, nicht aber auch auf die obern Planeten, für welche die Elongationen von Null bis 180° variiren. *

110. Beschäftigen wir uns nun mit der Position der Knoten und der Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.

Um die Knoten zu bestimmen, muß man mehre Tage hintereinander den Planeten beobachten, ist seine Breite sehr klein und im Abnehmen, so wird es leicht sein, den Moment zu bestimmen, wo während die Breite Null ist, der Planet die Ebene der Ekliptik durchschnitten hat. Er befand sich alsdann in seinem aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten, je nachdem er gegen die nördliche oder gegen die südliche Hälfte des Himmels seine Richtung nimmt. War der Planet in demselben Moment mit der Sonne in Opposition, so wird seine Länge, von der Erde aus gesehen, gleichzeitig die Länge des Knotens von der Sonne aus gesehen, sein. Dieser Umstand ist der günstigste von allen, denen man begegnen kann, weil er erlaubt die Position des Knotens durch bloße Beobachtung, und unabhängig von andern Elementen der Bahn zu bestimmen. Wenn der Planet sich von der Opposition in dem Moment entfernt, wo seine Breite Null ist, so berechnet man mit der mittlern Bewegung die Excentricität und die Länge des Periheliums, welche gekannt sind, der Standpunkt des Planeten auf der Ekliptik von der Sonne aus im Moment der gege-

* Seien ν die größere und ν' die kleinere Digression eines Planeten, r und r′ seine ihm entsprechenden Radii Vectores, R und R′ jene der Erde, so wird man in den Dreiecken PST P′ST′ (Fig. 68) haben:

$$r = R \sin. \nu \; ; \; r' = R' \sin. \nu'.$$

Die Differenz r′ — r getheilt durch die mittlere Distanz des Planeten von der Sonne wird das Doppelte der Excentricität der Bahn sein.

denen Beobachtung gesehen, ist dann auch der Ort des Knotens. *

Die einfachste Methode, um die Neigung zu bestimmen, würde sein, den Planeten gegen die Punkte seiner Bahn zu beobachten, oder wo er sich am meisten von der Ebene der Ekliptik entfernt. Seine Breite würde dann die Neigung dieser Bahn messen, wenn wir in dem Mittelpunkte der Bewegung placirt wären; allein man kann mit den bereits bekannten elliptischen Elementen eine geocentrische Breite, d. h. vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen, in eine heliocentrische Breite, d. h. vom Mittelpunkt der Sonne aus gesehen, umwandeln. **

Auf diese Art wird man eine Reihe von Werthen der heliocentrischen Breite in dem Moment bestimmen, wo die geocentrische Breite sich ihrem

* Das Phänomen der Durchgänge gestattet für die untern Planeten mit Genauigkeit die Position des Knotens zu bestimmen, weil alsdann der Planet sich im Moment der untern Conjunktion in seinem Knoten befindet.

** In der That, sei (Fig. 69) S die Sonne, T die Erde, P der Planet und P′ seine Projektion gegen die Ebene der Ekliptik, nennen wir H die heliocentrische Breite, und G die geocentrische Breite, so wird man haben: $H = PSP'$ und $G = PTP$; die Dreiecke PSP′ PTP′ geben übrigens:

$$PP' = SP' \text{ tang. } H = TP' \text{ tang. } G,$$

wovon man abzieht:

$$\text{tang. } H = \frac{TP'}{SP'} \text{ tang. } G.$$

Aber im Dreieck P′ST hat man:

$$SP' : TP' :: \text{sin. } T : \text{sin. } S.$$

Der Winkel T ist durch die Beobachtung gegeben, das ist die Differenz der Länge des Planeten von der Länge der Sonne, der Winkel S ist durch die Theorie der elliptischen Bewegung gegeben, d. i. die Differenz der Länge des Planeten, von der Sonne aus gesehen, von jener der Erde, von demselben Gestirn aus gesehen, man hat demnach endlich:

$$\text{tang. } H = \frac{\text{sin. } S}{\text{sin. } T} \text{ tang. } G.$$

Maximum nähert, und der größte aller dieser Werthe wird die Neigung der Bahn des Planeten gegen die Ekliptik messen.

Die Gelegenheiten, einen Planeten zu beobachten, wenn er in seiner größten oder kleinsten Breite ist, erneuert sich nur langsam für die obern Planeten, z. B. für Saturn, welcher 30 Jahre braucht, um seine Bahn zu durchlaufen, kommen sie nur nach je 15 Jahren wieder; die vorher erwähnten Methoden können also nicht im immerwährenden Gebrauch sein. Aber die Trigonometrie bietet andere Mittel, um den Einschnitt einer Planetenbahn mit der Ekliptik und ihre Neigung gegen diese Ebene durch Beobachtungen zu bestimmen, die in irgend einem Moment gemacht worden sind. *

* Nehmen wir an, man habe einen Planeten P im Moment einer Conjunktion beobachtet, so wird man im Dreieck SPT (Fig. 70) haben:

$$SP : ST :: \sin. T : \sin. TPS = \left(\frac{ST}{SP}\right) \sin. T.$$

Man hat außerdem $NPS = T + S$ und $\sin. TPS = \sin. NPS = \sin. (T + S)$, indem also $SP = r$, $ST = R$ machen wird, wird man haben:

$$\sin. (T + S) = \left(\frac{R}{r}\right) \sin. T.$$

Der Winkel T ist die geocentrische Breite im Moment der Opposition, sie ist durch die Beobachtung gegeben, die Distanzen R und r der Sonne von der Erde und vom Planeten, oder ihre Radii Vectores in ihren elliptischen Bahnen sind durch die Theorie gegeben, weil die Elemente dieser Bahnen als bekannt vorausgesetzt sind. Die vorhergehende Gleichung wird also den Winkel $T + S$ geben, indem man T abschneidet, wird man S errathen, oder die heliocentrische Breite im Moment der Conjunktion.

Sei ν die Länge des Planeten gemessen auf der Ekliptik, A die Länge der Erde, von der Sonne aus gesehen, so wird man im Moment der Conjunktion haben $A = \nu$; sei Ω die Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn, so wird $A - \Omega$ die Länge des Planeten sein, gezählt vom aufsteigenden Knoten; erhält man nun das sphärische rechtwinkelige Dreieck PP'J, welches zwischen der Ekliptik P'J, der Ebene der Bahn PJ und dem Kreis der Breite PP' enthalten ist, so wird man in diesem Dreieck haben:

111. Einige successive Beobachtungen der Position, welche ein Planet im Himmel während einem seiner Umläufe einnimmt, können also genügen, um alle Elemente seiner elliptischen Bewegung zu geben; man würde aber auf diese Art nur eine unvollständige Idee von seiner Bahn haben, und die auf diese Art bestimmten Elemente darf man nur als eine erste Annäherung ihrer wirklichen Werthe betrachten. Die mathematische Analyse bietet mehre Methoden, um diese ersten Elemente zu vervollkommnen; sie sind im Allgemeinen auf die Vergleichung der Formeln der Theorie und die Resultate der Beobachtung gegründet. Man begreift in der That, daß, wenn die Elemente der elliptischen Bahn eines Planeten präcis gekannt wären, der Standort des Planeten im Himmel, welcher aus den Gesetzen seiner Bewegung in der Ellipse ermittelt wäre, der durch die astronomischen Beobachtungen bestimmten Position genau entsprechen müßte. Die Differenz kann nur aus der Ungenauigkeit der Elemente entstanden sein, und die Veränderungen, die man ihre Werthe erleiden lassen mußte, um diese Differenzen verschwinden zu machen, werden Gleichungen verschaffen, welche dazu dienen, diese Verbesserungen mit der gewünschten Präcision bestimmen zu können. Man wird also dahin gelangen, die Elemente eines Planeten der Art kennen zu lernen, daß sie auf die genaueste Weise den gegebenen Beobachtungen Genüge leisten. Man begreift folglich, daß ihre Genauigkeit fortwährend in dem

$$\text{tang. } J = \frac{\text{tang. } PP'}{\text{sin. } P'J} = \frac{\text{tang. Heliocentr. Breite}}{\text{sin. } (A - \Omega)}$$

Diese Gleichung wird den Winkel J oder die Neigung der Bahn ἀ geben.

Man kann auch durch sehr einfache Formeln die Neigung bestimmen, wenn der Planet in dem Moment beobachtet worden ist, wo die Sonne im Knoten seiner Bahn war.

Verhältnisse zunehmen muß, je mehr ihre Angaben durch eine größere Anzahl guter Beobachtungen unterstützt werden.

Die Elemente der Planetenbahnen kennen wir heutzutage sehr genau. Zu dieser Vervollkommnung gelangte man dadurch, daß man ihre frühern Werthe nach und nach verbesserte. Als man nach langen Zwischenzeiten dieses Verfahren erneuerte, hatte man jedoch die Bemerkung gemacht, daß die Resultate nicht mehr ganz die frühern waren, und daß die elliptischen Elemente der verschiedenen Planeten — die mittlern Distanzen, welche immer unveränderlich bleiben, ausgenommen — kleinen Veränderungen ausgesetzt wären, welche progressiv mit der Zeit zuzunehmen scheinen. Also nehmen die Perihelien und die Knoten der Bahnen nach einem Jahrhundert nicht mehr denselben Platz am Himmel ein. Die Differenz kann bis zu einem halben Grad steigen, die Excentricitäten und Neigungen gehen auch, obschon unbedeutende, Veränderungen ein. Leider sind die Beobachtungen der Alten sehr unzuverlässig, und jene der Neuern sind unsrem Zeitalter noch zu nahe, als daß man mit ihrer Hülfe die Ausdehnung und die Gesetze dieser Veränderungen mit Sicherheit bestimmen könnte. Wir werden aber in der Folge sehen, wie das Prinzip der Schwere, das die Ursache dieser Erscheinung hat erkennen lassen, durch die mathematische Analyse unser Ziel mit größter Genauigkeit erreichen läßt, so daß wir im Gedanken Phänomene voraussehen, die erst nach vielen Jahrhunderten sich ganz enthüllen werden.

Weil diese Veränderungen nur sehr geringfügig sind, und erst im Laufe der Zeiten durch Anhäufung merkbar werden, hat man ihnen den Namen s e k u l ä r e U n g l e i c h h e i t e n beigelegt. Die großen Axen und die mittlern Bewegungen, welche sich

daraus herleiten, sind die einzigen Elemente der elliptischen Bewegung, welche davon auszunehmen wären; die Beobachtung und die Theorie weisen zugleich ihre Unveränderlichkeit nach.

112. Wenn die Elemente eines Planeten gegeben sind, kann man mittelst des Prinzips der elliptischen Bewegung jederzeit seine Position am Himmel auffinden. Wirklich genügt dies, um jederzeit die Position des Radius Vector, auf welchem er sich befindet, zu erkennen. Nun aber steigen durch das zweite Gesetz Keplers die beschriebenen Sektoren mit der Zeit in gleicher Proportion; man wird also für einen beliebigen Zeitpunkt die Stellung des Radius Vectors eines Planeten, mit Beziehung zu jener, welche derselbe Radius Vector in dem zur Epoche gewählten Moment einnehmen würde, mit Bestimmtheit angeben können. Man bestimmte demnach durch einfache graphische Operationen die Stellung eines Planeten auf seiner Bahn in einem gegebenen Zeitpunkte; aber die Theorie gibt uns noch zuverlässigere und weniger mühsame Formeln an die Hand, in welchen es genügt, den Werth der Zeit an die Stelle der sie repräsentirenden Größe zu substituiren, um jederzeit den Radius Vector, die Länge und Breite des Planeten, folglich auch seine Position in Bezug zur Sonne zu bestimmen. Eine Reihe solcher für gleich lange Zwischenzeiten berechneten Werthe, die auch in der geeignetsten Ordnung zusammengestellt werden, um die Angabe des Standorts eines Planeten zu erleichtern, bildet das, was man Planetentafeln nennt.

Wenn die Position eines Planeten in Beziehung zur Sonne bestimmt ist, so kann man daraus auch leicht seine Position in Beziehung zur Erde schließen.

Also ist man mittelst der Planetentafeln im Stande, schon im Voraus für jeden Tag des Jahrs seine

geocentrischen Längen und Breiten, die Momente seiner Conjunktionen und Oppositionen, mit solcher Sicherheit zu bestimmen, als verdankte man dies der direkten Beobachtung. Auf diese Art sind auch die in der Connaissance des temps zum Behufe der Astronomen und Seefahrer angefertigten Tafeln entstanden.

113. Da die Gestalt des Planetensystems unaufhörlich sich verändert, so bietet sie auch merkwürdige Zufälle, deren Epochen sich im Voraus bestimmen lassen. So muß z. B. das Zusammentreffen zweier oder mehrer Planeten an einem und demselben Punkt des Himmels dem Astronomen eine interessante und manchmal auch nützliche Erscheinung sein. So war Laplace, durch Anwendung einer von Ibn-Jubis am 30. Oktober 1007 beobachteten Conjunktion des Saturn und Jupiter, im Stande die sekulären Bewegungen dieser beiden Planeten zu verbessern.

Man citirt noch eine Conjunktion der fünf großen Planeten, die unter der Regierung des Kaisers Tschun-Gio, mehr als 2500 Jahre vor unserer Zeitrechnung, in China beobachtet wurde. Das erste Jahr des jetzigen Jahrhunderts zeichnete sich durch eine ähnliche Erscheinung aus, wir meinen das Zusammentreffen des Mondes, der Venus, des Jupiters und Saturns an einem Orte des Himmels nahe bei dem Stern „Löwenherz". Diese Conjunktion ereignete sich am 3. Oktober 1801. Solche gleichzeitige Conjunktionen mehrer Planeten sind übrigens äußerst selten, und Lalande hat berechnet, daß 17 Millionen Jahre die Conjunktionen der sechs erstern Hauptplaneten von einander trennen, bei welcher Angabe noch nicht einmal auf die Stunden Rücksicht genommen ist. *

* Die Bewegung der Venus in einem julianischen Jahr von 365¼ Tagen ist 2166641",52, jene der Sonne in dem gleichen

Die synodische Bewegnng eines Planeten läßt die Zwischenzeit erkennen, welche ihn zu derselben rechtwinkligen Distanz von der Sonne zurückführt; es kann aber auch von Nutzen sein, die Periode zu wissen, nach welcher er auf seiner Bahn dieselbe Position in Beziehung zur Sonne wieder annimmt. Wir haben bereits gesehen, welchen Gebrauch man von dieser Art Perioden bei der Bestimmung der Sonnen- und Mondfinsternisse machte. Um ähnliche Perioden auch für die Planeten zu erzielen, genügt es, das annähernde Verhältniß ihrer mittlern Bewegung in einer gegebenen Zeit zu jener der Sonne zu haben. Dies Verhältniß läßt die Zwischenzeit genau erkennen, innerhalb welcher die Sonne und der Planet eine bestimmte Zahl von Umläufen vollenden, und sich folglich in derselben gegenseitigen Position in Beziehnng zur Erde wiederfinden. Auf diese Art lassen sich auch ohne Berechnung für eine gegebene Zeit die Durchgänge eines untern Planeten, die mittlern Conjunktionen oder Oppositionen eines obern Planeten vorherbestimmen, wenn nur Berechnung oder Beobachtung für eine jener Zwischenzeiten diese Phänomene fixirt haben. Seit aber unsere Planetentafeln sich so sehr vervielfältigt haben und man in den von den vorzüglichsten Stern-

Zeitraum 109256″,29, und man findet, daß das Verhältniß beider Zahlen jenes von $^{13}/_{8}$ ist, oder noch genauer $^{473}/_{291}$; die von den beiden Gestirnen durchlaufenen Strecken sind in demselben Verhältniß; der Planet wird also 13 Umkreise beschreiben, während die Sonne deren nur 8, oder 473 Umkreise, während diese nur 291 beschreibt, d. h. nach 8 oder 291 Sonnenjahren haben beide eine genaue Anzahl von Umkreisen beschrieben. Sie werden dann zu denselben Positionen auf ihren respektiven Bahnen zurückgekehrt sein. Da aber die Zahlen, welche die mittlern Bewegungen der Planeten, und jene der Sonne ausdrücken, die frühern Zahlen sind, so werden die Verhältnisse der Ausmeßbarkeit, die wir für sie angenommen, nur annäherungsweise sein, und man kann folglich für denselben Planeten eine Unendlichkeit mehr oder minder genauer Größen, je nachdem sie der Berechnung sich mehr oder weniger entziehen werden, annehmen.

warten veröffentlichten Ephemeriden die siderischen und synodischen Positionen der Planeten für jeden Tag im Jahre vorherbestimmen kann, haben diese Perioden, die ehedem große Dienste leisteten, nur noch ein geringes Interesse.

114. Wenn die Planeten streng elliptische Bahnen beschreiben würden, wie wir dies bisher angenommen, so würden die Formeln, auf die wir nun zu reden kommen, und die daraus abgezogenen Tafeln ihre Bewegungen genau darstellen; allein die Beobachtung hat gezeigt, daß sie kleinen Unregelmäßigkeiten unterworfen sind, welche sie bald nach der einen Richtung, bald nach der entgegengesetzten von der Position entfernen, welche die Gesetze der Bewegung in der Ellipse ihnen anweisen. Man hat daher eine allgemeine Ursache dieser Störung vermuthet, die es uns verbietet, diese Bewegung für eine erste Approximation der planetarischen Bewegungen zu halten. Da aber die Störungen stets nur unbedeutend, im Verhältniß zur Hauptbewegung des Planeten, sind, so zeigt uns die Hypothese von der elliptischen Bewegung einen mittlern Ort, von welchem sie nur wenig ausbiegen kann. Rechnet man also zu den elliptischen Tafeln, als geringfügige Verbesserungen die kleinen Ungleichheiten hinzu, welchen jeder Planet ausgesetzt ist, so wird sich seine Position mit größter Genauigkeit bestimmen lassen, ohne daß dadurch die Mühe des Aufsuchens bedeutend vermehrt würde.

Diese Ungleichheiten, welche nur unbedeutend die elliptische Position der Planeten verändern, differiren von jenen, welche wir sekuläre Ungleichheiten nennen und welche insbesondere von den Elementen ihrer Bahnen unzertrennlich sind. Sie nehmen nicht, wie jene, mit der Zeit zu, sie sind alternativ, d. h. nachdem sie während einer Reihe von Jahren sich nach einer Richtung hin vermehrten,

nehmen sie in den folgenden Jahren ab, werden Null, und vermehren sich sodann in der entgegengesetzten Richtung, indem ihr Wachsthum auf gewisse Grenzen beschränkt ist, die er nicht übersteigen kann. Aus diesem Grunde, und um sie von den erstern zu unterscheiden, hat man sie periodische Ungleichheiten genannt. Ihre Vorausbestimmung hat die Mathematiker und Astronomen sehr beschäftigt. In der That ist diese Aufgabe auch eine der schwierigsten und wichtigsten für die theorische und praktische Astronomie. Wir werden wieder darauf zurückkommen, wenn von den Mitteln die Rede sein wird, welche die mathematische Analyse an die Hand gibt, um die Gesetze, nach welchen die Himmelskörper sich bewegen, zu bestimmen.

Hier folgen, nach den besten Tafeln, die Elemente aller Planeten für den 1. Januar 1801.

Umlaufszeiten:

☿	Merkur	87,9692580	T.
♀	Venus	224,7007869	„
♁	Erde	365,2563612	„
♂	Mars	686,9796458	„
⚶	Vesta	1325,743100	„
⚵	Juno	1592,660800	„
⚳	Ceres	1681,393100	„
⚴	Pallas	1686,538800	„
♃	Jupiter	4332,5848212	„
♄	Saturn	10759,2198174	„
♅	Uranus	30686,8208296	„

Von diesen Werthen hat man die mittlern Distanzen durch das dritte Gesetz Keplers abgezogen.

Verzeichniß der Elemente der Planetenbahn um Mitternacht des ersten Januar 1801.

Planeten.	Mittlere Distanzen.	Excentricitäten.		Epochen oder mittlere Längen.	Ort des Periheliums.	Ort des Knotens.	Neigung.
☿ Merkur	0,38709388	0,2055149		100° 13′ 17,9″	74° 21′ 41″	45° 57′ 39″	7° 0′ 9″
♀ Venus	0,72333228	0,0068531		145 56 52,1	128 43 6	74 52 39	3 23 29
♁ Erde	1,00000000	0,01685359		100 23 32,6	99 29 53	0 0 0	0 0 0
♂ Mars	1,52369210	0,0933061		232 49 50,5	332 23 40	48 0 26	1 50 6
⚶ Vesta	2,36787000	0 0891300	1820	278 30 0,4	249 33 24,4	103 13 18,2	7 8 9
⚵ Juno	2,66900900	0,25784800	1820	200 16 19,1	53 33 46,0	171 7 40,4	13 4 9,7
⚳ Ceres	2,76724500	0,07843900	1820	123 16 11,9	147 7 31,5	80 41 24,0	10 37 26,2
⚴ Pallas	2,77288600	0,24164800	1820	108 21 57,9	121 7 4,3	172 39 26,8	34 34 55
♃ Jupiter	5,20115524	0,0481621		81 52 10,3	11 7 36	98 25 45	1 18 52
♄ Saturn	9,53797320	0,0561505		123 05 29,4	89 8 20	111 56 7	2 29 38
⛢ Uranus	19,18251710	0,0466108		173 30 16,6	167 39 24	72 59 21	0 46 26

115. Was wir oben in Beziehung auf den Lauf der Planeten um die Sonne gesagt, leidet auch seine Anwendung auf den Lauf der Satelliten um ihre respektiven Planeten. Im fünften Kapitel hatten wir die Gesetze, nach welchen der Mond sich um die Erde bewegt, unsern Lesern erklärt; die Beobachtung der Monde des Jupiter, Saturn und Uranus zeigt, daß ihre Bewegungen dem Kepler'schen Gesetze gleichfalls unterworfen sind.

Die Beobachtung der Eklipsen eines Satelliten gibt die Zwischenzeiten seiner mittlern Oppositionen zur Sonne, oder seine synodische Umlaufszeit d. h. in Beziehung zur Sonne, und es ist leicht, daraus jene seiner siderischen Umlaufszeit zu schließen, sobald erst der Umlauf des Planeten bekannt ist. Die Beobachtung der weitesten Elongationen der Satelliten lehrt uns ihre Distanzen vom Mittelpunkte ihrer respektiven Planeten kennen; vergleicht man sodann diese Distanzen mit den siderischen Revolutionen, so findet man, daß sie dem dritten Gesetze Keplers genügen, d. h. die Quadrate der Umlaufszeiten in jedem System der Satelliten sind unter sich wie die Cubus der mittlern Distanzen vom Mittelpunkte des Planeten.

Dieses Verhältniß bewährt sich an den Satelliten des Saturn und Jupiter, so wie an dem zweiten und vierten Satelliten des Uranus, die einzigen ihrer Art, deren Umläufe durch die direkte Beobachtung bis jetzt angegeben werden konnten. Durch sie wurde man auch in den Stand gesetzt, die Umlaufszeiten der vier andern Satelliten des Uranus nach einer annähernden Schätzung ihrer Distanzen vom Mittelpunkt des Planeten zu bestimmen.

116. Durch die Beobachtung von Eklipsen der Satelliten ist man auch dahin gekommen, die Elemente ihrer Bahnen zu bestimmen. Da diese Bahnen

sich nur wenig von der Kreisform entfernen, so sind die Veränderungen der rechtwinkeligen Distanzen der Bahnen vom Mittelpunkt des Planeten sehr klein und schwer zu beobachten. Es wäre also unmöglich, auf diese Art die eigentlichen Gesetze ihrer Bewegungen zu bestimmen, während das oft sich wiederholende Phänomen der Eklipsen den Astronomen ein Mittel an die Hand gibt, die Elemente, welche sie durch frühere Versuche erhielten, fortwährend zu verbessern, und so zu einer Angabe zu gelangen, welche so zuverläſſig, als es bei der Unvollkommenheit unserer Beobachtungsinstrumente überhaupt möglich ist.

Die Vergleichung der Dauer der Eklipsen mit ihren durch die Berechnung erzielten Werthen zeigt, wenn man zuerst angenommen, daß die Bahnen kreisförmig und die Umläufe gleichförmig, die Modifikationen, welchen man diese Hypothese um die Phänomene darzustellen, unterwerfen muß. So hat man auch erkannt, daß die Bahnen der Satelliten Ellipsen sind, deren Brennpunkt der Planet einnimmt, und daß der durch ihre Radii Vectores beschriebene Flächeninhalt der Zeit proportionirt ist.

Durch dasselbe Verfahren erhält man einen ersten Werth von der Excentricität der Bahnen. Wir haben gesehen, wie die Beobachtung der Eklipsen von der kürzesten und längsten Dauer die Neigung und die Länge der Knoten annähernd kennen lehrte. Die Umlaufszeit und die mittlern Distanzen sind durch das Vorhergehende bestimmt, indem man mittelst der ersten Werthe die Positionen der Satelliten berechnet, und indem man mit ihnen eine große Anzahl von Beobachtungen der Eklipsen vergleicht, bestimmt man die Richtungen, welche diese Elemente haben müssen, wenn sie den Beobachtungen präcis entsprechen sollen.

Am Schlusse dieses Kapitels werden wir unsern

Lesern ein vollständiges Verzeichniß der elliptischen Elemente aller Satelliten vorlegen, den Mond unserer Erde ausgenommen, hinsichtlich dessen auf Kapitel V verwiesen wird.

Die Bahn des dritten Jupitermondes hat eine sehr kleine Excentricität, die Bahn des vierten aber hat eine weit beträchtlichere. Bis jetzt hat man eine merkliche Excentricität in den Bahnen der beiden andern Satelliten zu erkennen vermocht.

Die Bahn des ersten Satelliten confundirt sich etwas Weniges mit der Ebene des Aequators vom Jupiter, dessen Neigung gegen die Ebene der Bahn des Planeten 3° 5′ 30″ ist. Die Neigungen der Bahnen des zweiten und dritten Satelliten gegen dieselbe Ebene sind wenig beträchtlich. Die Neigung der Bahn des vierten Satelliten gegen die Ebene der Jupiterbahn ist 2° 58″ 48″. Vermöge dieser Neigung und seiner Entfernung vom Mittelpunkt des Planeten geht dieser Satellit öfter hinter dem Planeten vorbei, ohne eine Verfinsterung zu erleiden. Hingegen die drei erstern Satelliten müssen stets sich verfinstern.

Die große Entfernung der Satelliten des Saturn verhindert, ihren Bewegungen mit jener Leichtigkeit zu folgen, wie es bei den Jupitermonden der Fall ist. Demungeachtet haben die Beobachtungen der Eklipsen in der Bahn des sechsten Trabanten eine Excentricität gezeigt, die sehr merklich ist. Man hat ferner erkannt, daß die Bahnen der sechs erstern Satelliten mit der Ebene des Ringes beinahe coincidiren, so daß sie nur sehr wenig in dieser Ebene sich zu bewegen scheinen; der siebente Satellit ist der einzige, welcher sich merklich von ihr entfernt, seine Bahn ist in ungefähr gleicher Entfernung zwischen dem Aequator des Saturn und der Ebene seiner Bahn. Wir werden in der Folge die wahrscheinliche Ursache dieser Coincidenz in derselben

Ebene des Ringes und der Mehrzahl der Saturnmonde mittheilen, denn diese Coincidenz ist zu merkwürdig, um sie dem Zufall zuzuschreiben.

Die Uranusmonde entziehen sich der Beobachtung noch mehr als die Saturnmonde. Um sie zu unterscheiden bedarf man schon sehr guter Teleskope. Die Gesetze, nach welchen sie sich bewegen, sind uns fast ganz unbekannt. Noch weniger wissen wir über die Elemente ihrer Bahnen. Herschel, welcher sie entdeckte, hielt dafür, daß sie alle wie der zweite und vierte, welche letztere allein eine genaue Beobachtung möglich machten, in einer von der Bahn fast perpendikulären Ebene sich bewegen.

117. Die Elemente der Bahnen der Satelliten sind gleichfalls ähnlichen Veränderungen unterworfen, wie jene, welche die Elemente der Planetenbahnen afficiren.

Die Excentricität und die Position der großen Axe des dritten Jupitertrabanten variiren auf sehr merkliche Weise. Der Perijovis des vierten Trabanten, d. h. der Punkt der Bahn, wo der Satellit dem Mittelpunkt des Planeten am nächsten ist, hat eine direkte Bewegung von 42′ 58″,7.

Die Neigungen der Bahnen der Jupitertrabanten sind gleichfalls der Veränderung unterworfen, und ihre Knoten haben gegen die Ebene der Bahn des Planeten sehr rasche Bewegungen.

Aehnliche Veränderungen würden sich zweifelsohne in den Elementen der Bahnen des Saturn und Uranus erkennen lassen, wenn ihre Entfernung nicht ein Hinderniß wäre.

Unabhängig von diesen Veränderungen, welche die Elemente ihrer Bahnen afficiren, sind die Satelliten, gleich ihren Planeten, auch periodischen Ungleichheiten, die ihre elliptischen Bewegungen stören, unterworfen. Insbesondere machen sie sich in den Bewegungen der drei erstern Jupitermonde, deren

Theorie noch complcirter als die des vierten ist, bemerkbar. Diese drei Satelliten sind sehr nahe an einander und bilden gleichsam ein besonderes System, da ihre Bewegungen, durch sehr merkwürdige ihnen gemeinschaftliche Verhältnisse, nach einem innern Zusammenhange vor sich gehen.

Die mittlere siderische Bewegung des ersten Satelliten, zweimal mehr als jene des dritten, bildet mit dieser zugleich eine Summe, die stets gleich ist der dreimaligen des zweiten.

Dasselbe Verhältniß besteht zwischen den mittlern synodischen Bewegungen der drei Satelliten. In der That die synodische Bewegung eines jeden Satelliten ist gleich der siderischen, welche durch die Bewegung der Sonne vermindert wird. Substituirt man also in dem vorhergehenden Verhältniß an die Stelle der siderischen Bewegungen ihre Werthe, so wird die Bewegung der Sonne verschwinden, und man wird unter den synodischen Bewegungen auch die angezeigte Lage haben.*

Diese beiden Theoreme verdankt man Laplace, der sie aus einer zwischen den siderischen und synodischen Längen derselben Satelliten bestehenden allgemeinern Beziehung, welche die Beobachtung entdeckte, hergeleitet hat. Dieses Verhältniß besteht darin, daß die Länge des ersten Satelliten, dreimal weniger jene des zweiten, zweimal mehr jene des dritten stets gleich ist 180° oder der Hälfte des Umkreises. Die Theorie zeigt, daß dieses Verhältniß sehr streng ist, und jederzeit bestehen muß. Wir

* Seien n' n'' n''' die mittlern siderischen Bewegungen des zweiten und dritten Satelliten in einem julianischen Jahre. Nennt man s die mittlere siderische Bewegung der Sonne in demselben Zeitraum, so werden die synodischen Bewegungen der drei Satelliten $n'-s$, $n''-s$, $n'''-s$ sein. Nimmt man an, daß zwischen n, n', n'' man eine Gleichung folgender Art: $n'+2n'''-3n''=0$, habe, so wird man auch haben $n'-s+2(n'''-s)-3(n''-s)=0$.

haben davon zu sprechen schon Gelegenheit gehabt, und haben gesehen, wie man daraus gefolgert, warum die drei Satelliten nie zugleich verfinstert werden können. Später werden wir auf diese Ungleichheiten, welche daraus in ihren Bewegungen erfolgen, mehr ins Einzelne eingehen, sobald wir die Ursache dieser planetarischen Störungen auseinandersetzen werden.

Als man durch die Beobachtungen der Satellitenfinsternisse die Gesetze ihrer Bewegungen erkannt hatte, entwarf man Tafeln, die anfänglich auf die Beobachtungen allein, und zwar auf sehr unvollkommene gegründet waren, welche aber in der Folge mehr und mehr verbessert wurden, in dem Grade als die Beobachtungen eine größere Zuverlässigkeit erhielten, und je mehr die Theorie jene Ungleichheiten, welchen die Bewegungen unterworfen sind, enthüllte. Die Brauchbarkeit dieser Tafeln bei der Angabe der geographischen Längen, ließ ihre Vervollkommnung sehr wünschen. Die trefflichsten derselben hat in neuerer Zeit Damoisean veröffentlicht. Sie basiren auf der von Laplace aufgestellten Theorie der Satelliten.

118. Die Genauigkeit dieser Tafeln ist zweifelsohne jener der ältern, von Cassini i. J. 1668 über die Jupitermonde veröffentlichten, weit überlegen, allein jene ersten Versuche werden, da sie die physische Astronomie einen guten Schritt weiter förderten, von der Wissenschaft stets die verdiente Anerkennung erhalten. Den Differenzen, welche zwischen diesen Tafeln und der Beobachtung zum Vorschein kamen, verdankt man die Entdeckung eines sehr wichtigen Phänomens, nämlich die successive Durchlassung des Lichts. Wirklich hat man die Bemerkung gemacht, daß der Eintritt der Satelliten in den Schattenkegel, welchen Jupiter hinter sich wirft, als auch ihr Ausgang aus demselben sich stets früher

als es die Tafeln anzeigten, ereignete, wenn der Planet von der Erde mindest weit entfernt war, hingegen viel merkbarer, wenn die Distanz des Jupiter von der Erde über die mittlere Distanz hinausging. Diese Differenzen, welche für alle Satelliten stets dieselben bleiben, können nicht Ungleichheiten, welche ihre elliptischen Bewegungen stören, zugeschrieben werden, es war also eine sehr natürliche Annahme, daß die Ursache davon das Sonnenlicht sei, welches von den Satelliten nicht reflektirt wird, also auch nicht direkt bis zu uns übertragen werden kann, daß es also einer mehr oder minder langen Zeit, je nach der Entfernung Jupiters von der Erde bedarf, um bis zu uns zu gelangen. Da die Satellitentafeln nach einer großen Anzahl von Beobachtungen construirt sind, in welchen die kürzesten und weitesten Distanzen des Planeten von der Erde compensirt sind, dürften sie demnach mit den Beobachtungen um so besser harmoniren als die Distanzen des Planeten von der Erde im Momente einer jeden Beobachtung sich weniger von ihrem mittlern Werthe entfernten.

Sei S (Fig. 71) die Sonne, J Jupiter und a einer seiner Satelliten. Wenn die Geschwindigkeit des Lichtes sich augenblicklich fortpflanzte, so würden wir den Satelliten in dem Augenblick gewahren, wenn er aus dem Schattenkegel heraustritt, welcher dem Planeten folgt. Der Augenblick, in welchem wir ihn bemerken, wird sehr von dem wirklichen Moment seines Heraustretens, der Zeit, welche das Licht bedarf, um vom Jupiter auf der Erde anzukommen, differiren. Nimmt man an, daß man zwei Eklipsen desselben Satelliten beobachte, nämlich die eine, wenn die Erde im e ist, d. h. im Moment einer Opposition Jupiters gegen die Sonne, die andere hingegen, wenn die Erde im E ist, d. h. wenn Jupiter in Conjunktion ist, wie auch der Pla-

net im erstern Fall uns weit näher ist als im zweiten, so wird die Verspätung des scheinbaren Austritts gegen den wirklichen Moment der Erscheinung im letztern Fall auch weit beträchtlicher als im ersten sein; und die Differenz der beiden Verspätungen wird die Zeit sein, die das Licht anwendet, um die Distanz eE oder den Durchmesser der Erdbahn zu durchlaufen. Vergleicht man eine große Anzahl Eklipsen miteinander, so findet man, daß diese Differenz 9′ 86″ betrug, die Hälfte dieser Größe oder 8′ 13″ ist also die Zeit, welche das Licht braucht, um den Halbmesser der Ekliptik zu durchlaufen, oder von der Sonne zur Erde zu gelangen. Die mittlere Distanz der Sonne von der Erde ist 34500000 Meilen, folglich wird vorausgesetzt, daß das Licht in einer Sekunde 70000 Meilen zurücklegt.

So sehen wir also die Sonne nie an demselben Platze, welchen sie wirklich einnimmt; wenn wir sie dort erblicken, ist sie bereits 8′ 13″ weiter fortgerückt. Diese Bemerkung gilt auch für alle andern Gestirne.

119. Wir haben bereits gesehen, wie diese herrliche Entdeckung von der successiven Durchlassung des Lichtes, die wir dem dänischen Astronomen Römer verdanken, Bradley auf die Erklärung des Phänomens von der Aberration der Sterne, d. h. ihrer scheinbaren Bewegungen leitete. Sie gibt uns zugleich genauere Aufschlüsse über ihre Abstände, Größe 2c. als jene sind, die wir längst besitzen. Oben haben wir gesagt, daß die Distanz der Erde von den ihr zumeist benachbarten Sternen 200000mal größer ist als jene der Erde von der Sonne. Also würde das Licht von jenen Sternen zu einer Reise auf die Erde 200000mal mehr Zeit brauchen als das Sonnenlicht, d. h. 3½ Jahre. Wenn nun schon das Licht von Sternen erster Größe, wie z. B.

der Sirius oder die Leier, einen solchen Zeitraum erfordert, um wie viel länger wird erst das Licht von Sternen 16ter Größe unterwegs sein müssen. Dem Gesetz der Abstufungen zufolge darf man ohne Uebertreibung annehmen, daß diese letztern Sterne 300mal weiter von uns entfernt seien als die Sterne erster Größe. Daraus folgt, daß ihr Licht mehr als ein Jahrtausend braucht, um bis zu uns zu gelangen. Welche Vorstellung müssen wir uns also von der unermeßlichen Ausdehnung des Weltraums machen! Und wie klein müssen uns die Dimensionen unseres Planetensystems erscheinen, wenn wir sie mit jenen des Universums vergleichen!

Die Eigenthümlichkeiten des Lichtes gestatten uns ferner noch auf die Größe der Sterne zu schließen, die wir gar nicht mittelst direkter Beobachtungen abzuschätzen vermöchten, weil sie uns auch bei den besten Teleskopen keinen merklichen Durchmesser gewähren. Sehr genaue Erfahrungen lassen schließen, daß das Licht des Sirius zu jenem der Sonne in einem solchen Verhältnisse stehe, wie 1 zu 20000 Millionen. Gibt man nun zu, daß die Intensität des Lichts nach Verhältniß des Quadrats der Distanzen zunimmt, so müßte die Sonne 141000mal weiter entfernt sein als sie es wirklich ist, wenn sie nicht heller scheinen sollte als der Sirius. Nun haben wir aber schon gesagt, daß dieser Stern mindestens 200000mal weiter entfernt ist als die Sonne, der innerliche Glanz seines Lichts mindestens doppelt so stark als jener der Sonne, oder was auf dasselbe herauskömmt, der Sirius muß, wenn man eine vollkommene Aehnlichkeit in den Elementen, aus denen sie bestehen, zugibt, zwei Sonnen ersetzen. Alles zwingt uns, zu glauben, daß diese Schätzung noch weit unter der Wahrheit sei, und man hat, zufolge der vorerwähnten Erfahrungen angenommen, daß die Intensität des Siriuslichtes die Sonne

um das Vierzehnfache überbiete. Nimmt man nun an, daß alle Sterne ziemlich gleicher Größe und unserer Sonne ähnlich sind, und daß sie in ihrer scheinbaren Größe nur durch die mehr oder minder große Entfernung differiren, so dringt sich die Frage auf: auf welche enorme Distanzen muß man nicht die Position der Sterne zurückbringen, um die Phänomene, welche ihr Licht uns darbietet, sich erklären zu können? Hier bleibt auch die fruchtbarste Einbildungskraft hinter der Natur zurück.

120. Nach dieser Abschweifung über das Maß der Geschwindigkeit des Lichts und den daraus entspringenden Folgen kehren wir zu den planetarischen Bewegungen zurück, womit wir uns in diesem Kapitel beschäftigten.

Aus dem, was oben gesagt worden, läßt sich schließen, daß alle Satelliten eine gemeinschaftliche Bewegung haben, in der Richtung von West nach Ost, wie die Planeten. Sie beschreiben Ellipsen, deren Brennpunkt ihre respektiven Planeten einnehmen; endlich ist auch die Bewegung auf diesen Curven den Kepler'schen Gesetzen conform, d. h. die beschriebenen Grundflächen nehmen in gleicher Proportion mit der Zeit zu, und die Umlaufszeiten sind proportionirt den Quadratwurzeln der Cubus der großen Axen.

Diese verschiedenen Theoreme stimmen mit den Beobachtungen der vier Jupitermonde überein; was die Monde des Saturn und Uranus anbetrifft, so haben sie sich nur an einzelnen bewährt, weil ihre große Entfernung uns verhindert, allen ihren Bewegungen zu folgen; aber die Analogie leitet zu der Annahme, daß das System der Satelliten auch bei ihnen seine Anwendung leide; die Richtigkeit dieser Schlußfolge muß erst von der Vervollkommnung der Instrumente erwartet werden.

So darf man die Entdeckung Keplers als ein

allgemeines Gesetz betrachten, welchem alle Himmelskörper, die um einen gemeinsamen Brennpunkt sich bewegen, gehorchen müssen. Und die Gleichförmigkeit in den Bewegungen aller Gestirne zeigt uns deutlich genug, daß eine gleichförmige Ursache diese Erscheinung hervorbringe; sowie wo die Wirkungen von einander abweichen, man den Grund davon in der eigenthümlichen Beschaffenheit des Systems, zu welchem diese Sterne gehören, suchen muß.

Verzeichniß der elliptischen Elemente der Satelliten.

Satelliten des Jupiter.

Satelliten.	Siderische Umläufe.		Mittlere Distanzen vom Mittelpunkt des Planeten.	Neigung gegen den Aequator.
1.	1 T. 18 St. 28′	1,769137788148 T.	6,04853 *	—
2	3 13 14	2 551810117849	9 634274	27′ 49″,2
3	7 3 43	7,154552783370	15,35024	12 20
4.	16 16 32	16,6877690708 4	26,99835	2

* Den Halbmesser des Aequators des Planeten als Einheit genommen.

Die Excentricitäten der beiden ersten Satelliten sind unmerklich, jene des dritten sehr klein, aber einer merklichen Abweichung unterworfen. Die Excentricität und Neigung des vierten Satelliten sind weit beträchtlicher als jene der drei andern.

Satelliten des Saturn.

Satelliten.	Siderische Umläufe.				Mittlere Distanzen vom Mittelpunkt des Planeten.	Epochen ihrer Entdeckung.
1.	0 T.	22 St.	38'	0,94271 T.	3,351 *	Herschel 1789, Teleskop von 40 Fuß.
2.	1	8	53	1,37024	4,300	Herschel 1789.
3.	1	12	18	1,88780	5,284	Cassini 1684. Fernr. von 34 bis 136 Fuß.
4.	2	17	45	2,73918	6,819	Cassini 1684.
5.	4	12	25	4,51749	9,524	Cassini 1672. Fernrohr von 35 bis 70 Fuß
6.	15	22	41	15,94530	22,081	Huygens 1655.
7.	79	7	55	79,32960	64,359	Cassini 1671.

* Den Halbmesser des Aequators des Planeten als Einheit genommen.

Die Bahnen der fünf erstern Satelliten und jene des siebenten sind beinahe kreisförmig, und coincidiren mit der Ebene des Ringes oder dem Aequator des Saturn. Die Bahn des sechsten hat eine merkliche Excentricität, sie ist 0,0488759, ihre Neigung differirt auch von jener des Ringes und des Aequators. Die große Entfernung der Satelliten des Saturn ist Ursache, daß sie uns nie den Nutzen gewähren können, den uns die Jupitermonde leisten, und über ihre Elemente, wie über die Ungleichheiten ihrer Bewegung herrscht jetzt noch Ungewißheit.

Satelliten des Uranus.

Satelliten.	Siderische Umläufe.				Mittlere Distanzen.
erster	3 T.	21 St.	25'	5,8926 T.	13,120 *
zweiter	8	16	58	8,7068	17,022
dritter	10	23	4	10.9611	19.845
vierter	13	10	56	13,4559	22,752
fünfter	38	1	48	38.0750	45 507
sechster	107	16	40	107,6944	91,008

* Den Halbmesser des Aequators als Einheit angenommen.

Diese Bahnen sind bis jetzt nur von Herschel, ihrem Entdecker, beobachtet worden. Um sie zu bemerken, bedarf man eines sehr starken Teleskops. Sie scheinen sich in Bahnen zu bewegen, welche beinahe perpendiculär von der Ekliptik sind.

Inhalt.

Fünftes Kapitel. Vom Monde. — Aelteste Beobachtung der Bewegungen des Mondes. — Neigung seiner Scheibe zur Ekliptik. — Sekuläre Beschleunigung seiner mittlern Bewegung. — Tropische, siderische, synodische, anomalistische und drakonitische Monate. — Parallaxe des Mondes. — Mondphasen. — Der Ciclus des Meto oder die goldene Zahl. — Eklipsen des Mondes. — Eklipsen der Sonne. — Aschfarbiges Licht. — Mondflecken. — Mondgebirge. — Luftsteine. — Gemuthmaßter Einfluß des Mondes auf den Wechsel der Witterung und auf die thierische und vegetabilische Schöpfung 3

Sechstes Kapitel. Von der Erde — Ihre Unbeweglichkeit ist nur scheinbar. — Drehende Bewegung um ihren Mittelpunkt. — Transferirende Bewegung um die Sonne. — Bewegung der Pole. — Schwankung der Erdaxe und Präcession der Aequinoktien. — Consequenzen, welche aus der Bewegung der Erde erfolgen. — Veränderungen ihrer Schwere — Abirrung des Lichtes. — Passatwinde. . 57

Siebentes Kapitel. Von den Planeten. — Wodurch sich die Wandelsterne von den Fixsternen unterscheiden. — Oppositionen und Conjunktionen. — Rechtläufige und rückläufige Bewegung. — Abstände der Planeten von der Sonne. — Untere und obere Planeten. — Stationen und Retrogradationen. — Systeme des Kopernik, Ptolomäus und Tycho de Brahe. — Besondere Theorien sämmtlicher Planeten 92

Achtes Kapitel. Allgemeine Gesetze der planetarischen Bewegungen. — Alle Planeten bewegen sich in derselben Richtung um die Sonne. — Bildlicher Abriß ihrer Bahnen. — Diese Curven sind Ellipsen, von deren Brennpunkten einen die Sonne einnimmt. — Keplers Gesetze. — Elemente der Planetenbahnen. — Mittel, sie zu bestimmen. Construktion der Planetentafeln. — Merkwürdige Configurationen des Sonnensystems. — Störungen der elliptischen Bewegung der Planeten — Seculäre Ungleichheiten. — Periodische Ungleichheiten. — Elliptische Bewegungen der Satelliten um ihre respektiven Bahnen. — Elemente ihrer Bahnen. — Bemerkenswerthe Verwandtschaft zwischen den siderischen Bewegungen der drei erstern Jupitermonde. — Geschwindigkeit des Lichtes, geschlossen aus der Beobachtung der Eklipsen des vierten Satelliten. — Abriß der Elemente der Satelliten. 160

Bayerische Staatsbibliothek München

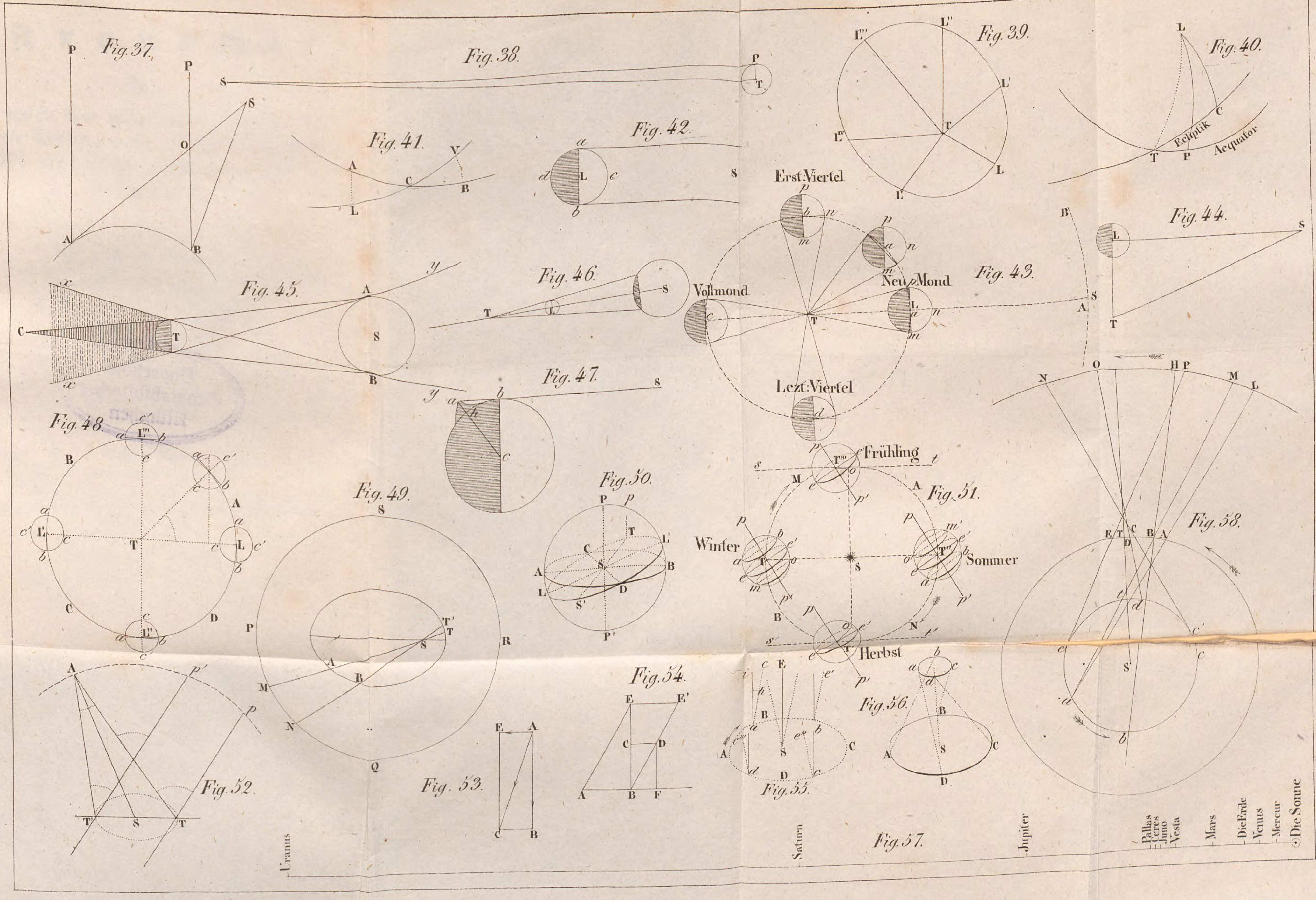

Fig. 37.
Fig. 38.
Fig. 39.
Fig. 40.
Ecliptik
Aequator
Fig. 41.
Fig. 42.
Fig. 43.
Erst: Viertel
Vollmond
Neu Mond
Lezt: Viertel
Fig. 44.
Fig. 45.
Fig. 46.
Fig. 47.
Fig. 48.
Fig. 49.
Fig. 50.
Fig. 51.
Frühling
Winter
Sommer
Herbst
Fig. 52.
Fig. 53.
Fig. 54.
Fig. 55.
Fig. 56.
Fig. 57.
Uranus
Saturn
Jupiter
Pallas
Ceres
Juno
Vesta
Mars
Die Erde
Venus
Mercur
Die Sonne
Fig. 58.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Doulcet de Pontécoulant, Philippe Gustave <<Le>>,

Populäre Astronomie für Alle, welche ohne mathematische Vorkenntniß über die Einrichtung des Weltgebäudes theoretisch und praktisch vollkommen belehrt sein wollen
Bd.: 2

Stuttgart (1846)

Astr.u. 307 x-1/4
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10061218-2